

Anu Sahlman-Nyqvist

PRIMÄÄRIKENNO 3:N KOEAJO VAAHTOKAMERALLA

Kemiantekniikan koulutusohjelma
2015

PRIMÄÄRIKENNON 3:N KOEAJO VAAHTOKAMERALLA

Sahlman-Nyqvist, Anu-Susanna
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kemian tekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2015
Valvoja: Junnikkala Saku, Boliden
Ohjaaja: Timo Hannelius, lehtori, SAMK
Sivumäärä: 70
Liitteitä: 4

Asiasanat: kuonarikastamo, vaahdotus, vaahtokamera

TIIVISTELMÄ

Tämän lopputyön tarkoituksena oli testata vaahtokameran toimintaa kuonarikastamolla primäärikennossa. Primäärikennon toimintaa säädetään vaahtopatjan paksuuden, kennoon syötettävän ilmamäärän, ksantaatin ja vaahdotusöljyn määrän muutoksilla. Primäärikennossa suoritettiin vaahtokamerakoeajo, jossa vaahtokameralle asetettiin kolme vaahdonnopeutta. Vaahdonnopeuden ohjauksella säädettiin vaahtopatjan paksuutta peräventtiilin avulla sekä ilmamäärää kennolla. Vaahdotusöljyn syöttö pidettiin koeajon aikana vakiona. Ksantaatin määrää muutettiin kolmasti jokaisen vaahdonnopeuden yhteydessä. Vertailun vuoksi ajettiin myös koeajo, jossa vaahtokameraa ei käytetty.

Koeajojen tuloksissa vertailtiin syötteen, rikasteen ja jätteen kuparipitoisuuksia sekä seulasarjoja sekä saantia. Näytteet analysoitiin Bolidenin omassa laboratoriossa XRF-menetelmällä ja näytteistä tehtiin seulasarjat + 270mesh, +400mesh ja alimmainen pohjajae, eli alite. Kennon tulosta arvioitiin laskennallisen saannin perusteella

Koeajotulosten perusteella voitiin todeta, että vaahtokamera ei toiminut aina loogisesti joka tilanteessa. Laite tulisi säätää kuonarikasteen vaahdotusprosessiin sopivaksi, jos laitteisto haluttaisiin hankkia rikastamolle. Vaahtokameralla ajettaessa saatiin hyvä saanti ja rikasteen kuparipitoisuus osassa kokeista. Syötteen kuparipitoisuus oli hyvällä tasolla koeajon onnistuessa hyvin. Koeajossa, jossa vaahtokameraa ei käytetty, saatiin huono saanti ja kuparin rikastepitoisuus. Kyseisessä koeajossa oli matala syötteen kuparipitoisuus, joka ei antanut koeajosta oikeaa kuvaa.

Kamerattomassa koeajossa kennoa ajettiin totuttujen arvojen perusteella, jotka eivät ole parhaat mahdolliset saannin kannalta. Vaahtokameran hankinta ja käyttö vaatisi lisämittauksia kennoston rikasteen ja jätteen rikastepitoisuudesta, jotta vaahdotusprosessia voidaan optimoida.

TRIAL RUN IN FLOTATION TANK3 BY USING FOAM CAMERA

Sahlman-Nyqvist, Anu-Susanna
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Chemical Engineering
May 2015
Supervisor: Saku Junnikkala, Boliden Harjavalta
Supervisor: Timo Hannelius, lecturer, SAMK
Number of pages: 70
Appendices: 4

Keywords: slag concentrator, flotation, frothsense

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to test function of foam camera in Slag Concentrator in Harjavalta Boliden factory. Tests were made in primary cell 3. Control variables were the height of the foam level, volume flow of air, xanthate, the collector and flotation oil. Above mentioned foam camera, frothsense, was applied in setting three different foam outlet velocities. The foam speed control adjusted foam layer thickness by changing the rare valve and amount of feed air. Flotation oil dosage was constant during the test. Amount of xanthate was changed three times in every froth speed. One test run was made without frothsense-camera.

Test samples were analyzed by using XRF-method in Boliden laboratory. Solid material was screened with Sieve Series in +270 mesh, +400 mesh and the fine bottom fraction. Copper content of the feed, concentrate, waste and recovery were determined.

According to the results frothsense camera was not always operated logically and in a reliable way. The device should be adjusted to the flotation system in slag, if production will invest the frothsense camera in a future. Good recovery and concentrate was obtained by frothsense occasionally. Copper content in the feed was at a good level and copper recovery succeeded in the camera test. Low recovery and copper content was reached, when test was made without camera. In that case, feed content was very slow and it didn't give a right picture of test.

In one test without frothsense under normal process conditions it was noticed that the recovery was not the highest possible. If production would like to make the best use of frothsense, also measuring instruments should be invested in concentrate and waste after flotation cell.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NEW BOLIDEN	7
2.1	New Boliden konserni.....	7
2.2	Boliden Harjavalta Oy	8
3	KUPARIN VALMISTUS HARJAVALLASSA.....	10
3.1	Yleiskuvaus.....	10
3.2	Liekkisulatusmenetelmä Harjavallassa.....	10
3.2.1	Liekkisulatusprosessi.....	11
3.2.2	Liekkiiuunin toiminnan vaikutus kuonaan	12
3.2.3	Konvertointiprosessi.....	12
3.2.4	Konvertoinnin vaikutus kuonaan.....	13
3.2.5	Anodiuuniprosessi	13
3.2.6	Elektrolyysiprosessi.....	13
4	KUONARIKASTAMON TAVOITTEET	15
5	KUONARIKASTAMON JAUHATUS	16
5.1	Patojen jäähdytys ja varastointi	16
5.2	Kuonarikasteen ylösajo	16
5.3	Jauhatus.....	17
6	RIKASTAMON VAAHDOTUS	20
6.1	Vaahdotuksen tarkoitus.....	20
6.2	Vaahdotuksen virtauskaavio	20
6.2.1	Rikastamon vesikierto	21
7	KUONARIKASTAMON TALTEENSAANTI	23
7.1	Laskennallinen talteensaanti	23
8	VAAHDOTUKSEN TEORIA	24
8.1	Yleiskuvaus.....	24
8.1.1	Kokooja kuonarikastamolla.....	26
8.1.2	Vaahdote kuonarikastamolla	26
8.1.3	Säännöstelevät kemikaalit	27
8.2	Vaahdotukseen vaikuttavat tekijät	27
8.2.1	Kiintoaineen partikkelikoko, paino ja pintaominaisuudet.....	27
8.2.2	Lietteen pH	28
8.2.3	Sekoittimen pyörimisnopeus	28

8.2.4 Kuplakokoon vaikuttavat tekijät.....	28
9 PRIMÄÄRIKENNO 3:N TOIMINTA.....	30
9.1 Vaahdotuskenno ja sen toiminta	30
9.2 Lietteiden pinta	31
9.3 Ilman mittaus	31
9.4 Kemikaalien syöttö	32
10 VAAHTOKAMERAN KOEAJO	33
10.1 Frothsense	33
10.2 Koeajon tarkoitus	35
10.3 Koeajosuunnitelma	35
10.4 Koeajon näytepaikat.....	36
10.5 Koeajon tulosten tarkastelu.....	37
10.5.1 Koeajo vaahdonnopeus 40mm/	38
10.5.2 Koeajo vaahdonnopeus 50mm/s	45
10.5.3 Koeajo vaahdonnopeus 60mm/s	53
10.5.4 Koeajo ilman kameraa	60
11 YHTEENVETO JA JATKOSUUNNITELMA	66

1 JOHDANTO

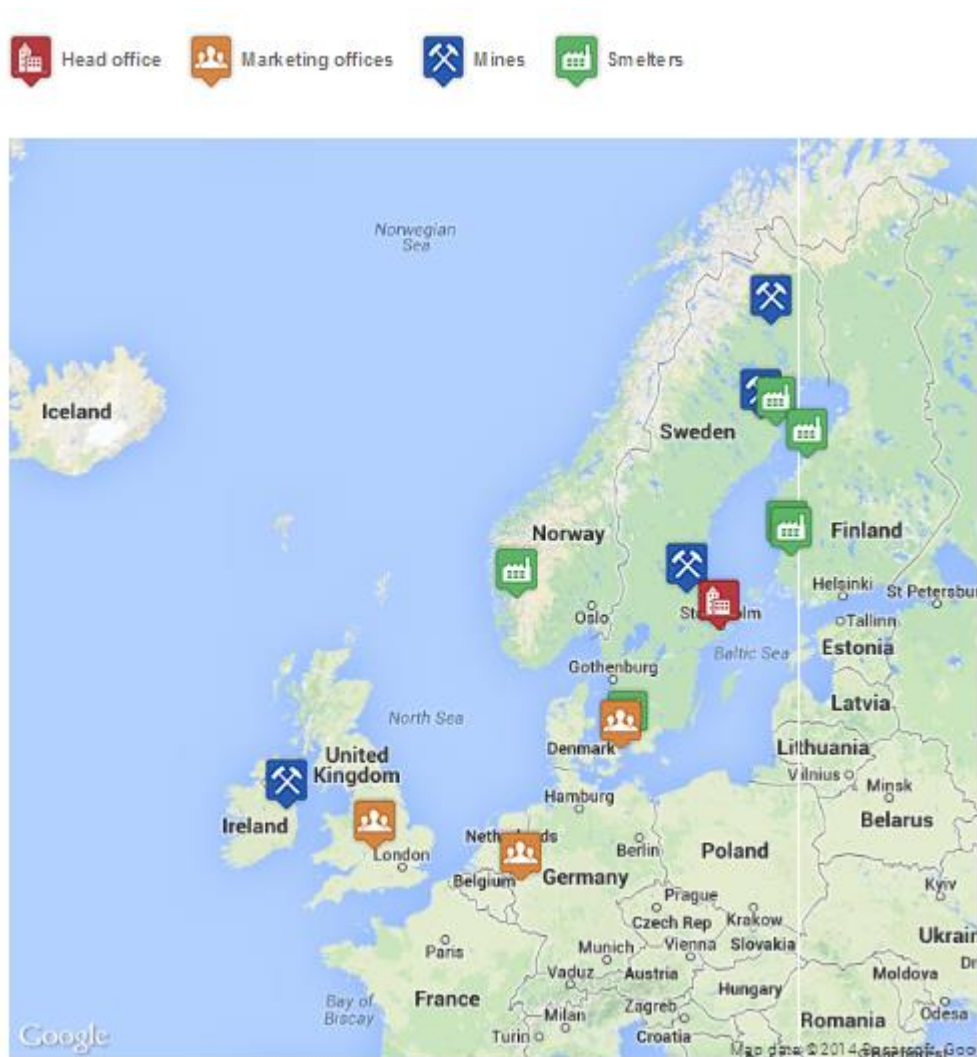
Tämä opinnäytetyö tehtiin Boliden Harjavalta Oy:n kuonarikastamolla. Työn ohjaajana toimi sulaton raaka-ainepäällikkö Saku Junnikkala.

Opinnäytetyössä koeajettiin Outotec:n vaahtokameraa, joka oli rikastamolla koekäytössä. Primäärikenno 3:sen koeajo suoritettiin 12. päivän aikana. Koeajossa tutkittiin vaahdon nopeuden, vaahtopinnan ja ilmamäärän vaikutusta Cu-saantiin. Koeajoista otettiin XRF -analyysit, joista seurattiin kuparipitoisuutta sekä kaikista näytteistä otettiin seula-analyysit. XRF -näyteanalyysien perusteella kennostosta laskettiin saanti. Näitä mittaustuloksia vertailtiin toisiinsa.

2 NEW BOLIDEN

2.1 New Boliden konserni

New Boliden -konserni valmistaa metalleja kuten kuparia, sinkkiä, lyijyä, kultaa, hopeaa, rikkihappotuotteita, rikasteita, alumiinifluorideja ja sivutuotteita, modernin elämän tarpeisiin. Pohjoismaisen konsernin toiminnan pääalueet ovat malminetsintä, kaivostoiminta, sulattotoiminta ja myynti. Kaivostoimintaa yrityksellä on Ruotsissa, Aitik (kupari, kulta, hopea), Garpenberg (sinkki, hopea, lyijy, kulta ja kupari), Boliden alueella (sinkki, kupari, kulta, hopea ja lyijy) ja Irlannissa Tarassa (sinkki ja lyijy). Sulatot sijaitsevat Ruotsin Rönnskärissä (kupari), Bergsöessä (sinkki), Norjassa Oddassa (sinkki) ja Suomen Kokkolassa (sinkki) ja Harjavallassa (kupari ja nikkeli). Myyntiä yritys hoitaa Tanskasta, Saksasta ja Englannista käsin. Pääkonttori Bolidenilla sijaitsee Tukholmassa. Bolidenin osake noteerataan Tukholman. Bolidenin omistuspohja muodostuu pääasiassa rahastoista ja piensijoittajista./1/



Kuva 1. Bolidenin toimipaikat /1/

2.2 Boliden Harjavalta Oy

Boliden Harjavalta Oy:n toimipaikat sijaitsevat Harjavallassa ja Porissa. Harjavallassa yrityksellä on kupari- ja nikkelisulatot ja Porissa kuparielektrolyysi. Päätuotteita ovat kupari, kulta, hopea ja rikkihappotuotteet. Näiden lisäksi Harjavalta sulattaa Norilsk Nickelin nikkeliä palvelusopimuksena. Kuparirikastetta sulatettiin 720 000t (2012), nikkelikastetta sulatettiin 250 000t (2012) ja kuparikatodituotantoa oli 155 000t (2012). Kuparirikasteena käytetään suurimmaksi osaksi Suomen ulkopuolelta mm. Portugalista ja Etelä-Amerikasta tulevaa rikastetta. Harjavallan sulatoilla

käytetään Harjavallassa 1949 kehitettyä liekkisulatusmenetelmää. Boliden Harjavallassa työskentelee 382 työntekijää(2012).

Taulukko 1 Boliden Harjavallan tunnusluvut /2/

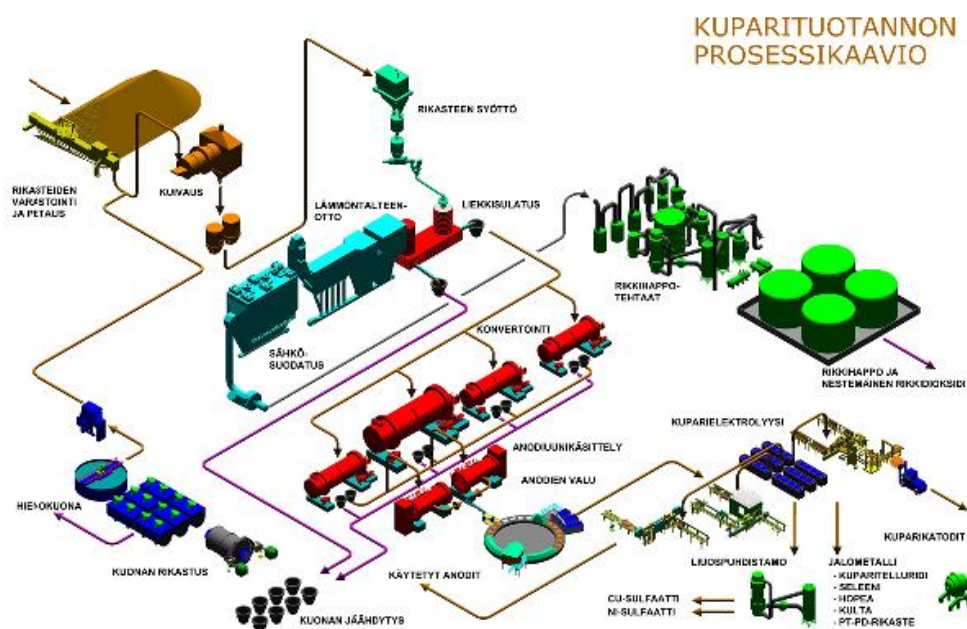
Boliden Harjavallan vuosittaiset tuotantokapasiteetit

Kuparirikastesulatus	720 000 tonnia
Nikkelirikastesulatus	250 000 tonnia
Anodikupari	210 000 tonnia
Katodikupari	155 000 tonnia
Rikkihappo	750 000 tonnia
Nestemäinen rikkidioksidi	60 000 tonnia
Kulta	6 000 kg
Hopea	130 000 kg

3 KUPARIN VALMISTUS HARJAVALLASSA

3.1 Yleiskuvaus

Kuparisulaton raaka-aineena käytetään kuparirikastetta, jossa kupari on ns. sulfidissa muodossa eli rikasteessa olevat yhdisteet ovat pääsääntöisesti rikkiyhdisteitä. Sulatuksessa käytetään kuparin lisäksi myös hiekkaa ja kaasumaisia raaka-aineita kuten happea ja ilmaa. Sulatus tapahtuu pyrometallurgisesti liekkisulatusmenetelmällä.



Kuva 2. Kuparituotannon prosessikaavio /3/

3.2 Liekkisulatusmenetelmä Harjavallassa

Harjavallassa kehitelty liekkisulatusmenetelmä otettiin käyttöön vuosina 1946 – 1948. Liekkisulatusuunissa korkeissa lämpötiloissa (1200 - 1400°C) hapen avulla saadaan rauta hapettumaan ja kupari pysymään sulfidisena eli rikin yhdisteenä. Menetelmässä kuparin, raudan ja rikin muodostama sulfidifaasi eli kivi ja kvartsin ja rautaoksidien muodostama silikaattifaasi eivät liukene juurikaan toisiinsa, vaan kivi

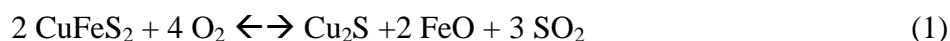
raskaampana erottuu mekaanisesti kuonasta. Liekkisulatusuunin toimintaa perustuu sulfidisen rikasteen oman palamislämmön hyväksikäyttöön, jolloin ulkopuolista öljyä energian antajana tarvitaan hyvin vähän tai ei ollenkaan.

3.2.1 Liekkisulatusprosessi

Rikastepolttimen kautta reaktiokuiluun syötetään kuivattu rikaste, uunista otettu lentopöly, hiekka ja esilämmitetty kaasu. Sulfidiset rikastepartikkelit kuumentuvat konvektion ja lämpösäteilyn avulla syttymislämpötilaansa. Reaktio on eksotermien ja partikkelit sulavat osittain reaktiokuilussa. Raudan ja rikin palamisreaktiosta saadaan riittävästi lämpöä syöttöseoksen sulatukseen.

Reaktio jatkuu alauunissa, pohjalle muodostuu kuparikivi (Cu – Fe - S). Kaasumainen rikkidioksidi johdetaan pois uunista nousukuilun kautta prosessilämpökattilaan ja sähkösuodattimeen. Kiintoainepöly otetaan talteen sähkösuodattimella ja lämpökattilan suppiloilla. Pöly palautetaan takaisin syöttöön. Kaasuista valmistetaan rikkihappoa ja nestemäistä rikkioksidia rikkihappotehtailla.

Reaktio rikasteen reagoidessa hapen kanssa tapahtuu reaktioyhtälön mukaisesti.



Liekkiuunissa kuparikiven päälle muodostuu raudan ja kvartsihiekan muodostamaa fajaliittikuonaa. Kuonassa oleva kupari on sekä sulfidisessa sekä oksidisessa muodossa. Rauta siirtyy suurimmaksi osaksi kuonaan liekkiuunissa. Kuona muodostetaan syöttörikasteen hapetetusta raudasta ja hiekasta, joka toimii kuonanmuodostajana. Kuparikiveen jätetään rautaa ja rikkiä konvertointia varten.

Liekkiuunin kuona lasketaan liekkiuunista kuonapatoihin, jotka kuljetetaan patajähdytysalueelle jäähtymään 48 tunniksi. Kuonan jäähtyessä hitaasti on kuparia sisältävillä partikkeleilla aikaa hakeutua toistensa joukkoon, tällä tavoin kideytimet kasvavat suuremmiksi. Isommat partikkelit on mahdollista erottaa vaahdottamalla kuonarikastamon vaahdotusprosessissa. Kuonan jähmettyessä hitaasti kuonan oksi-

dinen kupari (Cu_2O) reagoi kuonassa olevan kaksiarvoisen raudan (Fe^{2+}) kanssa muodostaen metallista kuparia.



3.2.2 Liekkiuunin toiminnan vaikutus kuonaan

Liekkisulatusuunissa tavoitellaan korkeaa kiviprosenttia, jolloin kuparihäviöt kuonaan ovat suuremmat. Liika hapetettu kivi tuottaa kuonautuvaa kuparioksidia ja lisää magnetiitin muodostumista. Magnetiitin muodostuminen ja alhainen lämpötila heikentävät kuonan juoksevuutta, jolloin kivi laskeutuu heikommin kuonan läpi ja lisää kuparipisaroiden määrää kuonassa. Kuonanlaskuissa huomioidaan, ettei kuonanlaskun aikana lasketa kiveä kuonan mukana. Kuonanmuodostajaksi lisättävän hiekan riittävällä määrällä varmistetaan erillisen kuonafaasin muodostumisen, liiallinen hiekkamäärä aiheuttaa kuparihäviöitä nostaen kuonan viskositeettia.

3.2.3 Konvertointiprosessi

Kuparikivi kuljetetaan liekkiuunista konverttereihin, jossa kiveä käsitellään kahdessa vaiheessa. Kuonapuhalluksessa kiven sisältämä rauta hapetetaan. Hapetuksessa käytetään happirikastettua ilmaa. Kuonapuhalluksia suoritetaan useita, joiden aikana rauta hapetetaan. Konvertteriin lisätään kylmää kierrätettyä romukuparia lämpötilan säätelyyn. Hapetettu rauta sidotaan hiekalla fajaliittikuonaksi. Ennen rikkaaksi puhallusta konvertterista poistetaan kuona kuonapatoihin. Kuonapadat kuljetetaan pata-alueelle jäähdytykseen kahdeksi vuorokaudeksi.

Rikkaaksipuhallus -vaiheessa muuttokiven rikki hapetetaan niin, että loppupitoisuus on raakakuparissa 0,02-0,1 %. Hapetusvaihe jatkuu niin kauan kunnes lähes kaikki rikki on poistettu. Rikkaaksi puhallusvaihe on voimakkaasti eksoterminen eli lämpöä tuottava, joten puhallusvaiheen aikana käytetään jäähdyksenä kuparipitoista romua, mm. kuparielektrolyysistä palautettua anodiromua. Rikkaaksipuhalluksen kuonaa ei

ajeta rikastamolle, korkean kuparipitoisuuden vuoksi. Konvertoinnissa syntyvät kaasut jäähdytetään jätelämpökattilassa ja sähkösuodattimella. Rikkipitoinen kaasu johdetaan puhdistettuna rikkihappotehtaalle. Konvertointi on panostyyppinen prosessi, kun liekkiuuni on jatkuvatoiminen prosessi.

3.2.4 Konvertoinnin vaikutus kuonaan

Raudan ylihapetusta tulee välttää kuonanpuhallusvaiheessa, koska tällöin kuonasta syntyy ylihapetuksen johdosta hyvin kuparipitoista. Kuonanpuhallusten välissä poistetaan osa kuonasta, jolloin seuraavan vaiheen kuonaa voidaan tällä tavoin parantaa. Lamberg et al.(2006) tutkivat raudan ja piioksidin suhdetta konvertterikuonassa ja sen vaikutusta kuonan jauhautumiseen ja metallisen kuparin määrään kuonassa. Heidän mukaansa Fe/SiO_2 saavuttaessa 1.5-2, jauhautuminen onnistuu ja metallista kuparia ei mainittavassa määrässä ole kuonassa.

3.2.5 Anodiuniprosessi

Anodiuniprosessi on kaksivaiheinen, joka koostuu rikinpoistosta ja pelkistyksestä. Ensimmäisessä vaiheessa poistetaan kuparista happi pois ylihapettamalla. Pelkistysvaiheessa kupariin liuennut happi poistetaan puhaltamalla valuun propaania, kunnes kuparin happipitoisuus on 0,05-0,2 %. Pelkistyksen ollessa valmis aloitetaan anodien valu. Valetut anodit toimitetaan Porin elektrolyysikäsittelyyn. Tässä vaiheessa anodin kuparipitoisuus on 99 %.

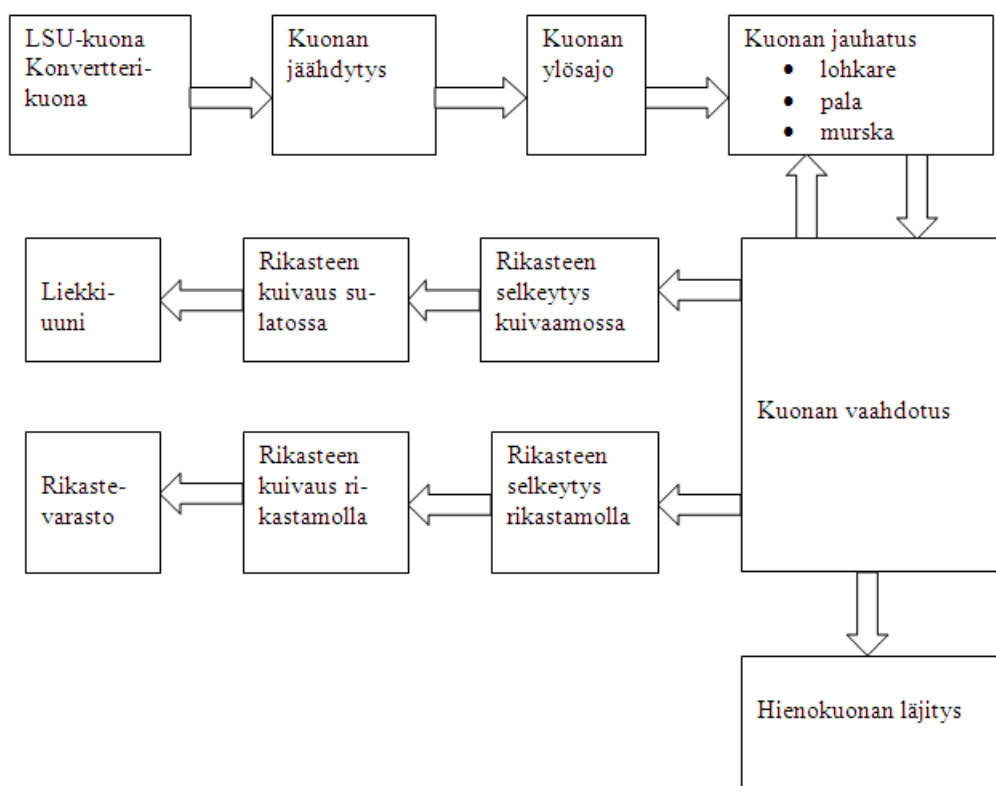
3.2.6 Elektrolyysiprosessi

Kuparielektrolyysissä anodeissa olevat epäpuhtaudet poistetaan ja tuotetaan 99,99 % puhdasta kuparikatodia. Anodit ja katodit upotetaan elektrolyysialtaaseen, jossa käytetään rikkihappoa sisältävää sulfaattipohjaista liuosta n.65⁰C lämpötilassa. Elektro-

deihin johdetaan sähkövirtaa tasavirtalähteestä. Elektrolyytti kuljettaa kupari-ioneja anodilta katodille. Kuparin puhdistusprosessissa syntyviä sivutuotteita ovat mm. kulta, hopea, platina ja palladium.

4 KUONARIKASTAMON TAVOITTEET

Kuonarikastamon tavoitteena on saada liekin – ja konvertterinkuonasta kupari talteen ja palauttaa kuparipitoinen rikaste liekkiuuniin. Rikastamon on käsiteltävä kaikki sulaton tuottamat kuonat ja pyrittävä pitämään rikasteen kuparipitoisuus syötettävän rikasteen kuparipitoisuuden tasolla. Harjavallan kuonarikastamon tärkeimpänä mittarina on kautta aikojen pidetty hienokuonan kuparipitoisuutta. Hienokuona läjitetään tällä hetkellä Lammaisten läjitysalueelle. Hienokuonalle ei ole löydetty toistaiseksi jatkojalostuskäyttöä.



Kuva 4. Kuonarikastamon lohkokaavio.

5 KUONARIKASTAMON JAUHATUS

5.1 Patojen jäähditys ja varastointi

Kuonarikastamo käyttää raaka-aineena kuparisulaton liekki- ja konvertteriuunikuonaa. Kuona lasketaan 11m^3 kuonapatoihin, jotka kuonatrukki kuljettaa sademetsään, patojen jäähdytysalueelle. Pata merkataan kuonatrukin patatietojärjestelmään saavuttuaan pata-alueelle. Patajärjestelmän avulla seurataan patojen jäähtymisaikoja. Molemmat kuonat jäähtyvät patajäähdytysalueella vesisuihkun alla 48h tuntia. Jäähdityksessä käytetään Ratalan ulkoalueiden orsi - ja pintavesiä. Hitaan jäähdityksen ansiosta kuonassa muodostuu suuria kiteitä, joiden ansiosta kupari erottuu paremmin vaahdotusprosessissa. Molemmilla kuonilla on oma paikkansa patamontussa, joihin ne kipataan. Patojen kippaus tapahtuu kuonatrukilla. Kuona hyvin jäähtyneenä hajoaa kipattaessa palasiksi. Kuonan seasta poimitaan ns.linssi (korkea kuparipitoinen materiaali, kivifaasi) pois kauhakoneella ja palautetaan murskattuna ja jauhettuna takaisin sulattoon. Kuonarikastamo ei käsittele linssiä vaan ainoastaan kuonaa. Liekkiuunin kuonan kuparipitoisuus vaihtelee 1-2 %:n ja konvertterin kuonan jopa yli 10 %:n. Rikastamon tasaisen käynnin varmistamiseksi on ensiarvoisen tärkeää pitää kuonat erillään toisistaan. Tällä tavalla saavutetaan rikastamolla tasainen syötteen kuparipitoisuus. Kuonarikasteen syötteen keskiarvo(2012) oli 3,4 % Cu. Syötteen tasaisuutta pidetään yllä syöttämällä konvertterin kuonaa suhteessa liekin kuonaan 1:5.

5.2 Kuonarikasteen ylösajo

Kuonan ylösajo eli kuonan siiloihin ajo tapahtuu kaatosuppilon ritilän kautta. Patahihnan kuljettaa kippauksessa murskaantuneen kuonan siiloihin. Kuona jakautuu kaksitasotäryseulalla lohkariksi kahteen lohkaresiiloon, palaksi palasiiloon ja murskeeksi murskesiiloon. Kaksitasoseulan ylite on lohketavaraa, ylimmäisen seulaelementin läpäisee palatavara ja alimmaisen seulaelementin läpäisee mursketavara. Lohkaresiiloon päätyvät kappaleet ovat halkaisijaltaan 80-300mm, palasiilon kappaleet 40-80mm halkaisijaltaan ja murskesiilon kappaleet alle 40mm halkaisijaltaan. Etummaiseen lohkaresiiloon seulotaan vain lohkekappaleita ja takimmaiseen loh-

karesiiloon kulkeutuu myös palasiilon ylite. Tämän vuoksi siilosta lohkaemyllyille syötettävän materiaalin koko vaihtelee 40-300mm. Takimmaiselta lohkaesyöttimeltä lohkaemyllyille syöttävän syöttimen toimintaa vaatii säätöä kuonan kappalekoon muuttuessa palasta lohkaetavaraan. Palasiilon palatavarasta murskataan kartiomurskaimella murskaa, jota syötetään murskasiilon kautta lohkaemyllyille. Palatavarasta tehty murska lisää rikastamon läpimenoa ja kapasiteettia. Kuonarikasteen ylösajoa suoritetaan keskimäärin kerran vuorossa 1-2 h ajan. Rikastamon keskimääräinen vuorokautinen ylösajomäärä on 1400 t kuonaa.

5.3 Jauhatus

Kuonarikastamon jauhatus tapahtuu lohka- ja palamylyissä, joita molempia on kaksi kappaletta. Rikastamolla on kaksivaiheinen suljettu märkäjauhatuspiiri. Jauhatuspiirissä raekooltaan liian karkeat partikkelit hydrosykloni erottelee takaisin myllyyn ja hieno partikkelinen liete ajetaan primäärivaahdotukseen. Lohkaemyllyt toimivat primäärijauhatuksena ja palamylyt sekundaarijauhatuksena.

Lohkaemylyihin syötetään lohkaetta, mursketta ja vettä. Lohkaemylyissä jauhamisen suorittavat lohkaet ja tarpeen mukaan lisättävät kuulat. Murske lisää läpimenevän kuonan määrää. Murske- ja lohkaekappaleiden oikea suhde syötöstä on tärkeää. Liian vähäinen murskemäärä vähentää rikastamon kapasiteettia ja liian suurella määrällä mursketta saadaan ajettua mylly täyteen ja jauhaantuminen hidastuu. Lohka- ja murskesyöttimet syöttävät kuonan hihnakuljettimille, joilta kuona siirretään lohkaajakuljettimille ja myllyjen syöttäville kuljettimille. Lohkaesyöttimiä ohjataan myllyjen tehojen mukaan automaattiohjauksella, mutta murskesyöttimien ohjaus tapahtuu manuaalisesti halutun murskan määrän perusteella. Molempien myllyjen yhteinen jakokuljetin pyrkii täyttämään molempien lohkaemyllyjen tarpeen. Tämä ei aina onnistu vaan myllyjen tehot saattavat laskea hetkellisesti kunnes molempien myllyjen tehot saadaan asetustasolle. Tämä aiheuttaa myllyjen jauhatukseen ja vaahdotukseen heiluntaa. Parhaimmassa tapauksessa molemmilla myllyillä tulisi olla omat syöttölinjat jo siiloilta asti. Myllyissä jauhaantunut liete ohjataan myllyn arinapään kautta kaivoon, josta liete pumpataan hydrosykloneille. Rikastamon kaivopumput ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä, joita ohjataan kaivon pinnan mukaan. Taa-

juusmuuttajan avulla pyritään ylläpitämään tasainen syöttö sykloneille. Syklonit erottavat raekoon mukaan tuotteen ylitteeksi ja alitteeksi. Syklonin alite palautetaan takaisin myllyyn ja ylite ohjataan vaahdotuskennoille vaahdotukseen. Palamyllyihin syötetään palamateriaalin lisäksi primäärivaahdotuksen alite välijätekaivon kautta. Rikastamolla käytetään myllyn lisävesinä prosessivettä ja tarpeen mukaan raakavettä joesta.

Palamyllyillä jauhetaan palakappaleita ja tämän lisäksi myllyihin palautetaan primäärivaahdotuksen alite. Palamyllyjen tehon tarve on 300 -450 kW. Palamyllyillä voidaan myös käyttää kuulia tehostamaan jauhantaa. Palamyllyillä käytetään halkaisijaltaan 30mm kuulia.

Kuonarikastamon myllyt ovat arinamyllyjä, joissa käytetään kumivuorausta. Lohkaremyllyjen vaipan vuoraus on ns. high-low -vuoraus, jossa joka toinen on korkea ja joka toinen matala palkki. Palkkien välissä on kumilevy. High-low -vuorauksen profiili mahdollistaa kuonan tehokkaan jauhatuksen, jossa lohkat toimivat tehokkaina jauhinkappaleina. Syöttö- ja arinapään vuoraukset koostuvat palkeista ja niiden väliin jäävistä levyistä. Kuonarikastamon syötteen kovuus kuluttaa myllyn vuorausta. Palamyllyjen vaipan vuorauksessa kaikki palkit ovat samankokoisia. Myllyt ovat autogeenimyllyjä, joiden toimintaa tehostetaan tarvittaessa kuulien käytöllä. LM1:ssä käytetään halkaisijaltaan 100mm kuulia. Kuulien käytöllä saadaan kuonan läpimenoa kasvatettua, mutta vastaavasti niiden käyttö lisää kustannuksia vuorausten kulumisena. Lisääntyneet vuoraukset aiheuttavat myös tuotannon menetyksiä. Kuulat itsessään myös aiheuttavat kustannusten nousua.

LM1 ja PM2 ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä oikosulkumoottoreita. LM1 apulaitteena on MillSense - analysaattorin, jonka avulla pystytään löytämään myllyn oikea täyttöaste, pyörimisnopeus, kohtauskulma ja osumakulma. MillSense:n avulla pystytään vaikuttamaan vuorauksen keston ja kuonan läpimenoon.

Jauhatuksen toimintaa seurataan PSI-500 analysaattorin avulla. Analysaattori on jatkuvatoiminen raekokoanalysaattori. Analysaattorilla mitataan LM1, PM1 ja PM2 syklonin ylitteestä raekokojakaumaa. Tärkein mittari on d80 arvo, jonka avulla seurataan myllyjen ylitteen karkeusastetta. Raekoon kasvaminen viittaa usein hienokuonan eli

läjitysalueelle menevän jätteen kuparipitoisuuden nousuun johtuen heikosta jauhaantumisasteesta.

Courier-analysaattorin avulla seurataan syötteen, rikasteen ja jätteen kuparipitoisuutta. Courier analysoi syötteen LM1 syklonin ylitteestä, rikasteen rikastekaivolta sulattoon menevästä rikastelinjasta ja hienokuonan kuparipitoisuuksia jätealueelle menevästä jätelinjasta, online-mittauksena. Courier-mittaus on kenttäkierrosten kanssa tärkeä työkalu optimoitaessa vaahdotuksen toimintaa. Näytteenotin kerää online-näytteen ohella keräilynäytteitä ämpäreihin. Nämä keräilynäytteet viedään laboratorioon analysoitaviksi, XRF -analysaattorilla. Näytteitä kerätään neljästi vuorokaudessa, 2 kappaletta aamu- ja iltavuorossa.

6 RIKASTAMON VAAHDOTUS

6.1 Vaahdotuksen tarkoitus

Vaahdotuskennoihin ohjataan myllyjen syklonien ylite. Kuonarikastamon vaahdotuksessa pyritään 22 %:n kuparirikasteen kuparipitoisuuteen. Rikaste pumpataan sulaton kuivaamon sakeuttimen ja suodatuksen kautta kupariliekkiiuuniin. Tilanteissa, joissa sulatto ei pysty vastaanottamaan rikastamon rikastetta, käytetään rikastamon sakeutinta ja laro-x-painesuodatinta rikasteen kuivattamiseen. Rikastamolla kuivattu rikaste kuljetetaan kuparirikastehalliin, josta se petauslaitoksen kautta ajetaan liekki-uunin kuparisyöttöön.

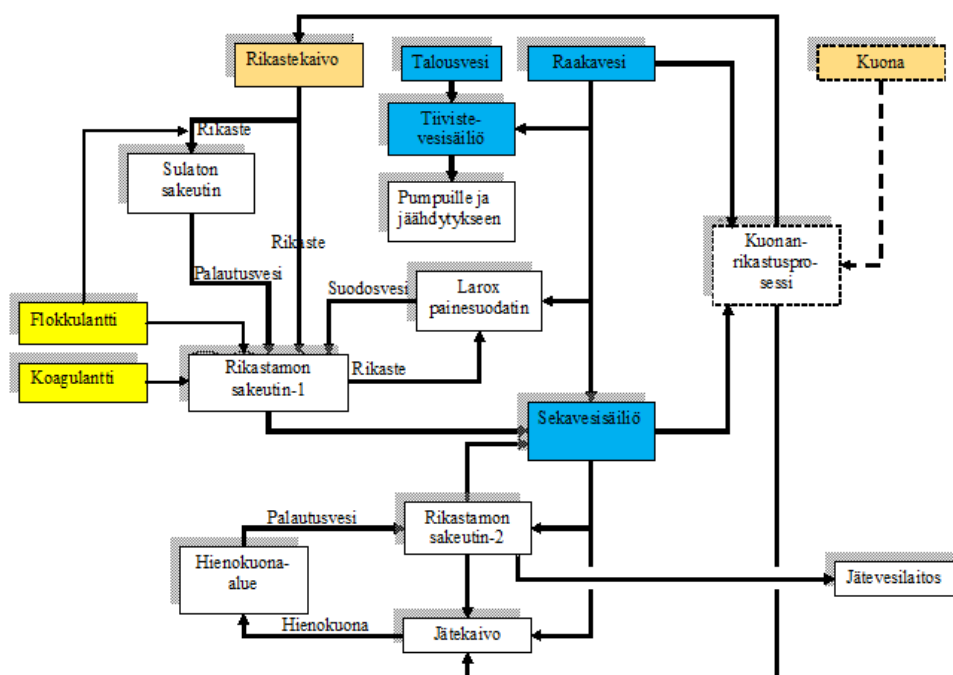
Vaahdotuksen tarkoituksena on erottaa kuparirakeet kuonasta kemikaalien ja syötetyn ilman avulla. Vaahdotuskennon rakentuu tankista ja sekoittajasta, jonka läpi syötetään ilmaa kennoon. Kennossa liete, ilma ja kemikaalit sekoittuvat tehokkaasti. Rikastamolla kemikaaleina käytetään natriumisobutyyliksantaattia kokoojana ja vaahdotteena Dowfroth:a. Vaahdotusöljyn tehtävänä on vahvistaa kuplaa ja ksantaatti kiinnittää kuparin kuplan pintaan. Kennon pinnalle kerääntyy rikastepitoinen vahto, joka liikkuu ylivuotoränniä pitkin vaahdotuksen seuraavaan vaiheeseen tai rikasteeksi rikastekaivon kautta sulattoon. Alite poistetaan kennon perässä olevasta peräventtiilistä pumpuille, jotka kierrättävät alitetta uudelleen seuraavaan vaahdotusvaiheeseen.

6.2 Vaahdotuksen virtauskaavio

Lohkaremyllyiltä liete ohjataan primäärivaahdotukseen, jossa kennon ylite syötetään rikastekaivoon ja alite välijätekaivoon, josta liete pumpataan palamyllykiertoon. Palamyllyiltä syklonin ylite ohjataan esivaahdotuskennoon. Esivaahdotuskennon ylite

takaisin rikastamolle. Läjitysalueen padon suotovedet kierrätetään Suurteollisuuspuiston omaan vesilaitokseen puhdistettavaksi.

Vedessä olevan kiintoaineen laskeuttamiseen käytetään flokkulanttia rikastelinjassa, joka pumpaa rikasteen joko rikastamon omaan sakeuttimeen tai sulaton sakeuttiin. Kuagulanttia käytetään omassa sakeuttimessa laskeuttamaan hienoimmat partikkelit.



Kuva6. Prosessivesien kaavio.

7 KUONARIKASTAMON TALTEENSAANTI

7.1 Laskennallinen talteensaanti

Kuonarikastamon tärkeimpänä mittarina pidetään hienokuonan Cu-pitoisuutta. Hienokuona kertoo sulaton lopullisen saannin. Hienokuona- mittari ei kuitenkaan ota huomioon syötteen ja rikasteen pitoisuuksia. Korkea kuparipitoisuus syötteessä vaikuttaa hienokuonaan heikentävästi, vaikkakin rikasteessa saatetaan pystyä vahvempanaan kuparirikastepitoisuuteen. Syötteen tasaisuus helpottaa vaahdotuksen onnistumista ja tästä johtuen rikasteen ja hienokuonan kuparipitoisuudet pysyvät paremmin hallinnassa. Syötteen kuparipitoisuus saattaa vaihdella johtuen kuonan varastointialueen hallinnasta johtuvista vaikeuksista. Konvertterikuonan varastopaikka on kauempana kuin liekkiuunin kuonan varastopaikka, jolloin konvertterikuonaa saatetaan kipata liekkiuunin kuonapaikalle. Linssien blokkaukset varastopaikalta henkilöstöpulan vuoksi saattaa jäädä vähäisemmälle huomiolle, jolloin linsejä kulkeutuu myös rikastamolle.

Kuonarikastamon toinen tärkeä mittari on syötteestä, rikasteesta ja hienokuonan eli jätteestä laskettava talteensaanti. Tätä mittaria tullaan käyttämään vaahtokameran koeajon tulosten käsittelyssä.

Saanti lasketaan kaavasta:

$$R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \cdot 100\% \quad (3)$$

jossa,

c = rikasteen pitoisuus [%]

f = syötteen pitoisuus [%]

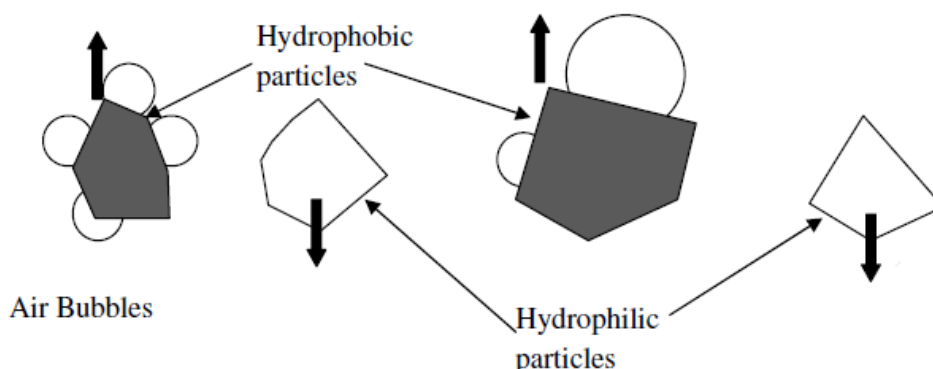
t = jätteen pitoisuus [%], /6/

8 VAAHDOTUKSEN TEORIA

8.1 Yleiskuvaus

Vaahdotusprosessissa on kolme faasia, kiinteä mineraalirakeinen muoto, nestemäinen useimmiten vesi ja kaasumainen eli yleensä vaahdotusilma. Vaahdottamalla erotetaan vesilietteessä oleva haluttu mineraali muista mineraaleista. Lietteessä olevat kuplat saadaan syntymään puhaltamalla ilmaa tai muuta kaasua lietteeseen. Ilman vaahdotetta kupla on liian heikko veden korkean pintajännityksen vuoksi ja kupla hajoaa. Vaahdotuksessa on tarkoitus saada aikaiseksi tarpeeksi sitkeää kuplasto, jossa kuplan pinnalle tarttuvat rikastettavat mineraalirakeet kulkeutuvat vaahdotuskennosta pois. Vaahdotte alentaa veden pintajännitystä. Vaahdon tulee olla niin sitkeää, ettei se hajoa ja pudota rakeita lietteeseen, mutta sen tulee olla samalla kyllin haurasta hajotakseen vaahdotuslaitteesta poistuttuaan, jotta ei muodostuisi lieteputkia ja -pumppuja tukkivia ilmakelloja./4/

Halutut mineraalit saadaan tarttumaan kuplan pintaan, jolloin niistä tehdään vesipakoisia eli hydrofobisia. Ei-halutut mineraalit pidetään vesihakuisina eli hydrofiilisinä.



Kuva 7. Vesipakoisten mineraalien tarttuminen kuplan pintaan.

Vaahdotuskennoston sisältö koostuu kahdesta erillisestä vyöhykkeestä. Kennon alapinnalla on lietettä ja yläpuoli koostuu vaahdosta. Lietteen ja vaahdon rajapintaa on tutkittu ja todettu rajapinnan olevan sekoite molempia vyöhykkeitä. Lietekerroksessa partikkelien ja ilmakuplien välillä tapahtuu tehokas vuorovaikutus ja vaahtokerroksessa saadaan aikaan rikaste eli tuote.

Kuplien noustessa kennon pinnalle muuttuu vaahdon koostumus ja kuplien rakenne. Kuplat kohoavat ylöspäin ja samanaikaisesti vesi virtaa alaspäin vieden mukanaan hydrofiilisiä partikkeleita lietteeseen. Kuplista irtautuu myös hydrofobisia partikkeleita lietteeseen. Kennon pinnalla oleva vaahto on kuivempaa kuin lieteroksessa. Kuplat puhkeavat ja kasvavat yhteen nestepitoisuuden laskiessa. Kuplien puhkeamiseen ja liika kasvuun voidaan vaikuttaa vaahdotteilla sekä kokoojilla. Lisäämällä vaahdotetta ehkäistään kuplien yhteen kasvua eli saadaan aikaiseksi pienempiä kuplia.

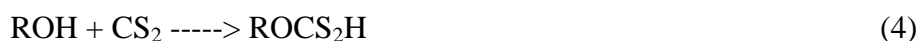
Vaahdotuskemikaalit

Vaahdotuskemikaalit jaetaan kolmeen ryhmään kokoojiin, vaahdotteisiin ja säännöstelijöihin ja niiden alaryhmiin seuraavasti:

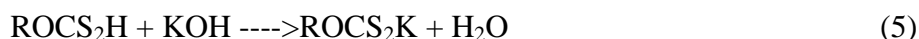
1. Kokoojat voidaan jakaa
 - Anonisiin
 - Kationisiin
 - Amfoteerisiin
 - Ionisoitumattomiin
2. Vaahdotteet
3. Säännöstelijät
 - Epäorgaaniset
 - Orgaaniset

8.1.1 Kokooja kuonarikastamolla

Kuonarikastamolla käytetään anonisista kokoojista tioleista ksantaattia. Ksantaatit ovat sulfidimineraalien tärkeimpiä kokoojia. Ksantaatti valmistetaan ensin alkoholin ja rikkihiilen reagoidessa ksantaattihapoksi



Ksantaattihappo reagoi kalium- tai natriumhydroksidin kanssa ja näin syntyy ksantaattia ja vettä



Ksantaattihappo hajoaa helposti eksotermisesti ja on räjähdysvaarallinen kemikaali. /7/.

Ksantaatteja käytetään emäksisellä tai lievästi happamalla pH-alueella. Ksantaatti hajoaa vahvasti happamassa lietteessä. Ksantaattiin saattaa jäädä valmistusvaiheessa epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat vaahdotuksessa vaikeuksia. Ksantaattiin jäänyt alkoholi saattaa aiheuttaa epämääräistä vaahdonmuodostumista. Ksantaatin pitoisuus voi vaihdella, jolloin kemikaalin syöttö vaikeutuu. Ksantaattia voidaan analysoida potentiometrisen titrauksen avulla.

8.1.2 Vaahdote kuonarikastamolla

Vaahdotteen ansiosta lietteen pintajännitystä pienenee. Kuplan kestää tällöin siihen kiinnittyneen kuorman ja kuljettaa sen rikasteränniin. Rikasterännissä kuplan tulee kuitenkin hajota, jotta se ei aiheuta ilmalukkoja ja kavitaatiota keskipakopumpuilla. Rikasterännissä vaahto tapetaan rännivesillä, jotka ovat rikastamon prosessivesiä.

Vaahdotteet ovat kemialliselta koostumukseltaan alkoholeja, hydroksyloituja polyeettereitä tai alkoksiryhmällä korvattuja paraffiineja. Kuonarikastamolla käytetään hydroksyloitua polyeetteristä vaahdotetta, Dowfroth, joka on liukenee veteen täydellisesti. Vaahdotuksessa haitallisia vaahdotteita ovat hydrauliikkaöljyt, joita toisinaan joutuu vaahdotukseen laiterikkojen vuoksi. Rikastamolla on parin vuoden takaa esimerkki, jolloin huonolaatuinen ksantaatti aiheutti suuria ongelmia ja rikastamon alasajon. Ksantaatin valmistusprosessissa kemikaaliin jäänyt alkoholi toimi lisävaahdotteena aiheuttaen kennoissa ylivaahdotusta ja pumpuilla pumppausongelmia.

8.1.3 Säännöstelevät kemikaalit

Säännöstelevä aktivointikemikaali on epäorgaaninen aine, jonka avulla saadaan heikosti vaahtoutuva mineraalin pinta sopivaksi halutun kokoojan tarttumiselle. Painajan säännöstelijä tehtävänä on pitää lietteen pH kriittisen alueen alapuolella, jotta vaahdotus voi onnistua. Kuonarikastamolla säännöstelijöitä ei tarvita.

8.2 Vaahdotukseen vaikuttavat tekijät

Vaahdotukseen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Kiintoaineen partikkelikoko, paino ja pintaominaisuudet
- Lietteen pH
- Sekoittimen pyörimisnopeus
- Ilmakuplien pintajännitys, koko ja ilman puhaltamistapa kennoon
- Käytettyjen kemikaalien määrä ja ominaisuudet

8.2.1 Kiintoaineen partikkelikoko, paino ja pintaominaisuudet

Vaahdotuksella on mahdollisuudet onnistua, jos jauhatuksessa onnistutaan saavuttamaan hyvä jauhatustaso. Vaahdotuksessa parhaiten vaahdottuvat rakeet, jotka ovat keskimäärin 10 - 100 µm. Puhtaaksijauhatusta ei onnistu isoissa rakeissa, jolloin hyödytön kiintoaine ympäröi halutun mineraalin kokonaan. Isot rakeet eivät pysy kiinni

ilmakuplissa eikä kokoojakemikaali ei pysty tartuttamaan arvometalleja kiinni kuplaan. Liian hienoksi jauhaminen aiheuttaa vaahdotukseen ongelmia, koska lietteestä tulee liejumaista. Tällaisissa tilanteissa voidaan vaahdotusta auttaa lisäämällä kokoojakemikaalia jo jauhatusvaiheessa.

Jauhatusasteen valinta on usein kompromissi, jossa taiteillaan raekoon ja jauhatusmäärien välillä. Raekokoa pienentämällä, energian kulutus kasvaa ja jauhatusmäärät pienenevät. Liian suuri raekoko taas vaikeuttaa vaahdotuksen onnistumista ja rikasteen laatu ja hienokuona saattavat heikentyä.

8.2.2 Lietteen pH

Lietteen oikea PH vaikuttaa vaahdotuksen onnistumiseen. Lietteen pH:n säätelyssä sulfidimalmeille voidaan käyttää kalkkia ja rikkihappoa. Kuonarikastamolla ei käytetä painajia pH:n säätöön, vaan pH on toimivalla tasolla luonnostaan.

8.2.3 Sekoittimen pyörimisnopeus

Vaahdotuskoneen tulee pitää mineraalirakeet suspension vesilietteessä, dispergoida riittävästi pienikuplaista ilmaa lietteeseen, saada aikaan kuplien ja rakeiden väliset törmäykset, muodostaa hiljaiset olosuhteet vaahtokerroksen syntymäalueelle ja antaa mahdollisuudet rikasteen ja jätteen poistoon.

Roottorin pyörimisnopeutta muuttamalla voidaan vaikuttaa kuplan kokoon ja niiden yhteenkasvettumiseen.

8.2.4 Kuplakokoon vaikuttavat tekijät

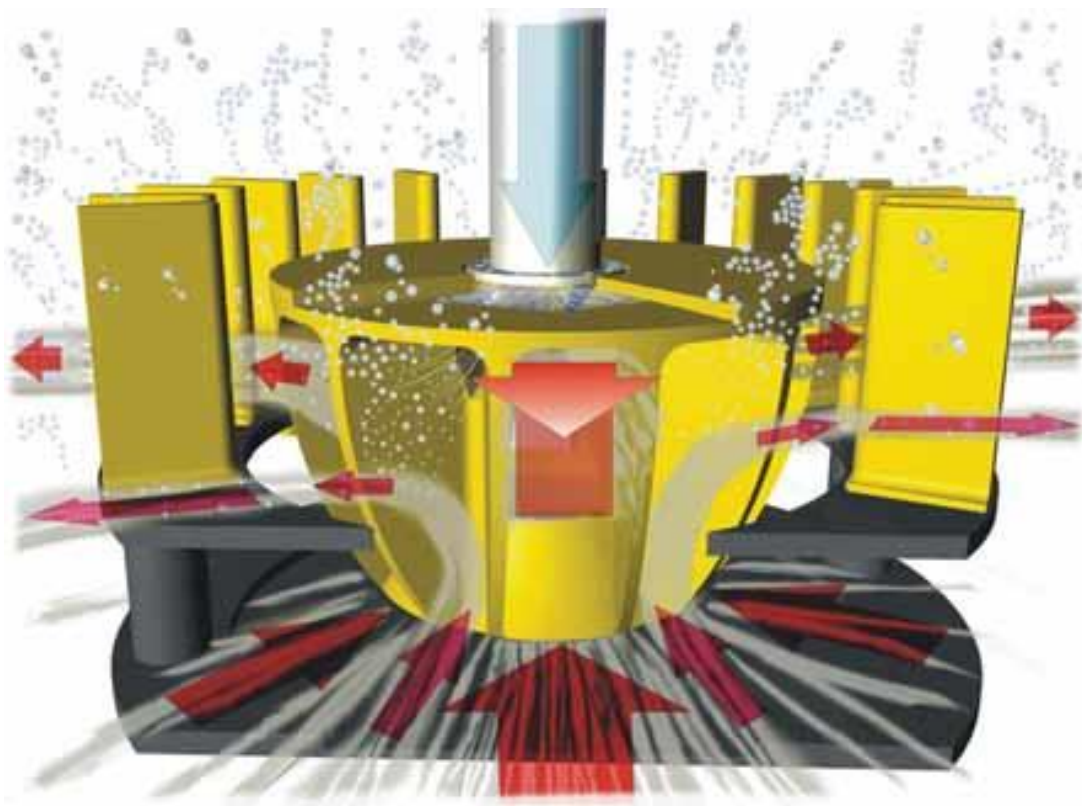
Kuplakokoa muuttamalla voidaan vaikuttaa vaahdotusprosessin onnistumiseen. Vaahdotuksessa kuplakoon tasainen jakautuminen pieniin ja tasakokoisiin ilmakupliin helpottaa vaahdotuksen onnistumista. Liian isot kuplat rikkoontuvat ja tiputtavat arvomineraalit lietekerrokseen. Roottorin pyörimisnopeutta kasvatettaessa kuplat

pienenevät ja niiden yhteen kasvaminen lisääntyy. Vaahdon ilmamäärän laskiessa kuplasto kuormittuu raskaasti. Vaahdon liikkuvuus vaikeutuu ja kuplat puhkeavat ennen kuin pääsevät rikasteränniin asti. Vaahdotetta lisäämällä voidaan pienentää kuplien pintajännitettä ja estää kuplien yhteen kasvaminen. Roottorin läpi syötettävän ilmamäärän pienentäminen aiheuttaa kuplakoon pienenemisen. Ilmamäärän pienentämisellä vaikutetaan myös sekoittajan toimintaan. Liiallinen ilmamäärän lasku aiheuttaa sekoittajan moottorissa ylikuormitusta ja sekoittajan moottori saattaa ylikuumentua ja pysähtyä. Raskaassa lietteessä sekoittajan uudelleen käynnistäminen saattaa olla vaikeaa ja vaatia kennon tyhjennyksen.

9 PRIMÄÄRIKENNO 3:N TOIMINTA

9.1 Vaahdotuskenno ja sen toiminta

Primäärivaahdotuskenno 3 on Outotecin TankCell-50, joka koostuu pyöreästä tankista, vaahtorännistä, syöttölaatikosta, moottorista, ilmansyötöstä, sekoitusmekanismista, pinnanmittauksesta, lietepinnan säätöventtiilistä ja huoltosillasta. Vaahdotuskennoissa säädetään vaahdotusilman määrää sekä lietteen pintaa säiliön peräventtiilin avulla. Vaahdotuskenno on varustettu roottorilla, jota pyörittää sähkömoottori. Sähkömoottori on taajuusmuuttajakäyttöinen. Vaahdotusilma johdetaan roottorin akselia pitkin alas kennoon.

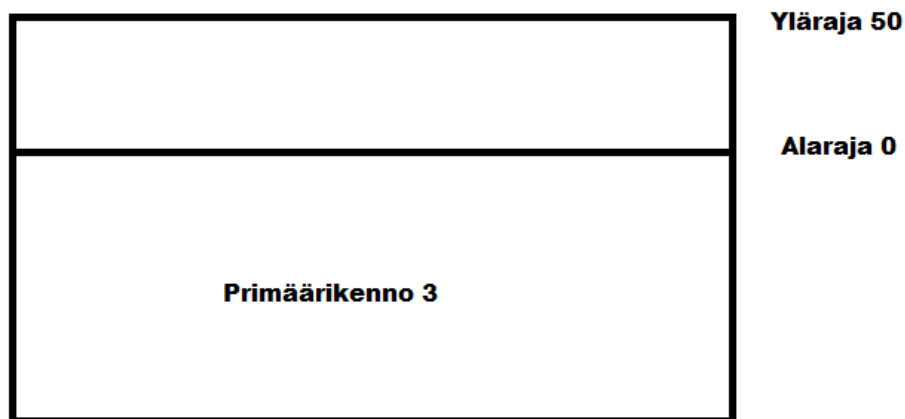


Kuva 8. Vaahdotuskennon staattori ja roottori

9.2 Lietteen pinta

Lietteen pinnansäätö mitataan kennon pinnasta. Korkeus mitataan kennon ylivuoto-reunasta. Lietteen pinta mitataan vaahdotuskennosta koholla, joka kelluu lietteen päällä. Kohoon on kiinnitetty metalliputki, jossa on vastelevy pinta-anturia varten. Pinta-anturina käytetään tutkaa, joka on asennettu pinnanmittaustelineeseen. Teline on kiinnitetty vaahdotuskennon runkoon. Lietteen pintaa säädetään letkuventtiilillä, joka on asennettu vaahdotuskennon ulostulon liitäntään. Rikastamon pinnanmittauksen yläraja on määritelty rännin yläreunan mukaan. Rännin yläreunan arvo on 50 ja kohon laskiessa alaspäin lukuarvot pienenevät.

Pinnanmittaus vaahdotuskennosta



Kuva9. Kennon pinnanmittaus raja-arvot. Lietteen ja vaahdon rajapinta 0 cm ja kennon yläraja (vaahtopatjan korkeus) 50cm.

9.3 Ilman mittaus

Ilman tilavuusvirtauksen mittaus suoritetaan annubaari - menetelmällä. Tämä mittaus on kompakti, sisältäen annubaarianturin ja lähettimen. Ilman tilavuusvirtauksen määrää säädetään läppäventtiilillä. Ilman mittauksessa lähettimenä toimii Rosemount Mass Flow Transmitter 3095M ja anturina Rosemount AnnuBar 485 (DN100 putkelle), prosessiliitäntä Pak-Log. Säätoventtiili koostuu asentolähtimestä (Neles Automation ND9103-HNT HART), toimilaitteesta (Valbia 100DA kaksitoiminen pneu-

maattinen) ja läppäventtiilistä (AVS SL 080VHER DN80). Säättöpiiri on normaali suora PI-säätö eli kun ilmamäärä kasvaa suljetaan säätöventtiiliä ja päinvastoin. Ilman tilavuusvirtauksen mittausalue on $0 \dots 20 \text{ m}^3/\text{min}$. Kennon ilma näyttää ilmamäärässä, joka vallitsee normaali-ilmanpaineessa.

9.4 Kemikaalien syöttö

Prim.3 syötetään ksantaattia ja vaahdotusöljyä automaatiojärjestelmästä käsin. Säätö on normaali suora PI-säätö. Ksantaattia ja vaahdotusöljyä lisätään tai vähennetään riippuen rikasteen pitoisuudesta. Kemikaalien säädöt hoitaa operaattori DNA:lta käsin.

Primäärikenno 3:sen ylite pumpataan sulaton kuivaamon sakeuttimeen rikastekaivon kautta. Sakeuttimesta rikaste kuivataan sulaton painesuodattimessa ja syötetään kuivaamon kuparilinjan kuivausrummun kautta liekkiuuniin. Rikastamon rikasteen kuparipitoisuus pyritään pitämään lähellä sulaton syötteen kuparipitoisuutta.

Prim.3 alite ajetaan kennon peräventtiilin kautta välijätekaivoon, josta liete pumpataan sekundäärijauhaukseen palamylylle.

10 VAAHTOKAMERAN KOEAJO

10.1 Frothsense

Frothsense koostuu kamerasta, kytkentäkaappista ja ACT-ohjelmasta. Kameran resoluutio on 800x600 pikseliä. Kamera käyttää tallennusformaattina JPEG:tä. Näyttö päivittyy 30 fps. IP-reitittimenä käytetään IP66/NEMA4X. Materiaalina kameraan Outotec on käyttänyt ruostumaton terästä, muovia ja alumiinia. Kameran paino on 9 kg, halkaisija 360mm ja korkeus 860mm.



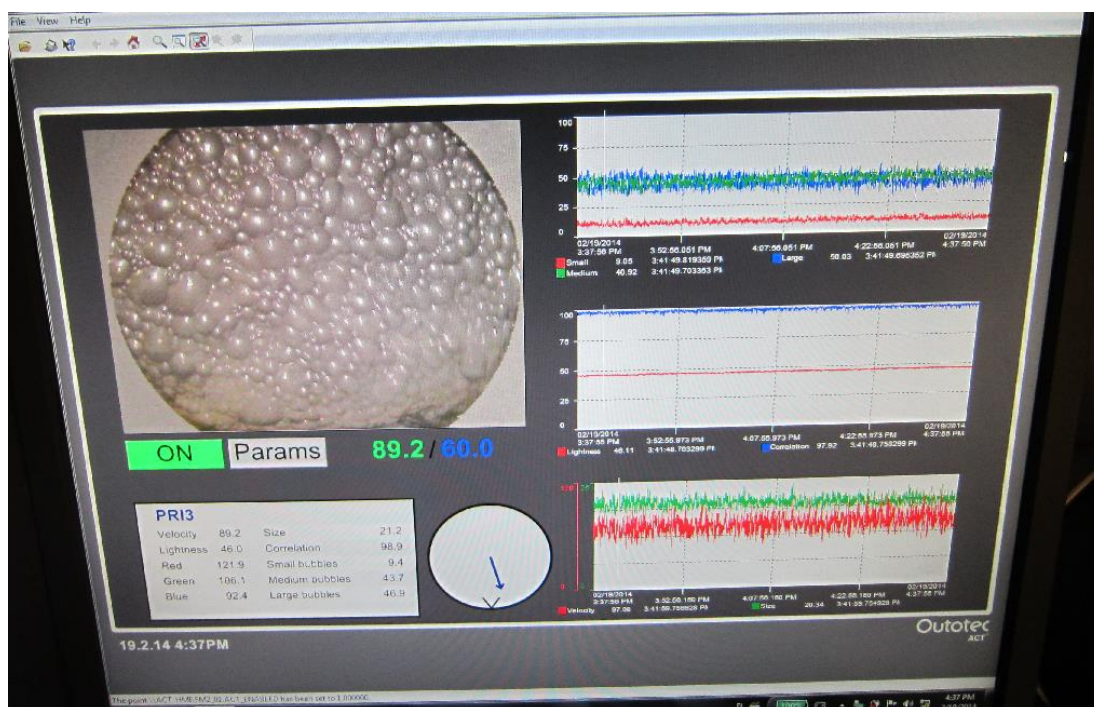
Kuva 10. Outotec frothsense-kamera

KytKentäkaapin ja kameroiden välinen yhteys hoidetaan Ethernet CAT16:sta. KytKentäkaapin ja serverin välinen yhteys hoidetaan Ethernet CAT6:lla.

Vaahtokameran ohjelma tarjoaa reaaliaikaista mittaus- ja analysointidataa vaahdon nopeudesta ja suunnasta, kuplakoon jakaumasta ja vaahdon stabiliteetista. Tässä koe-

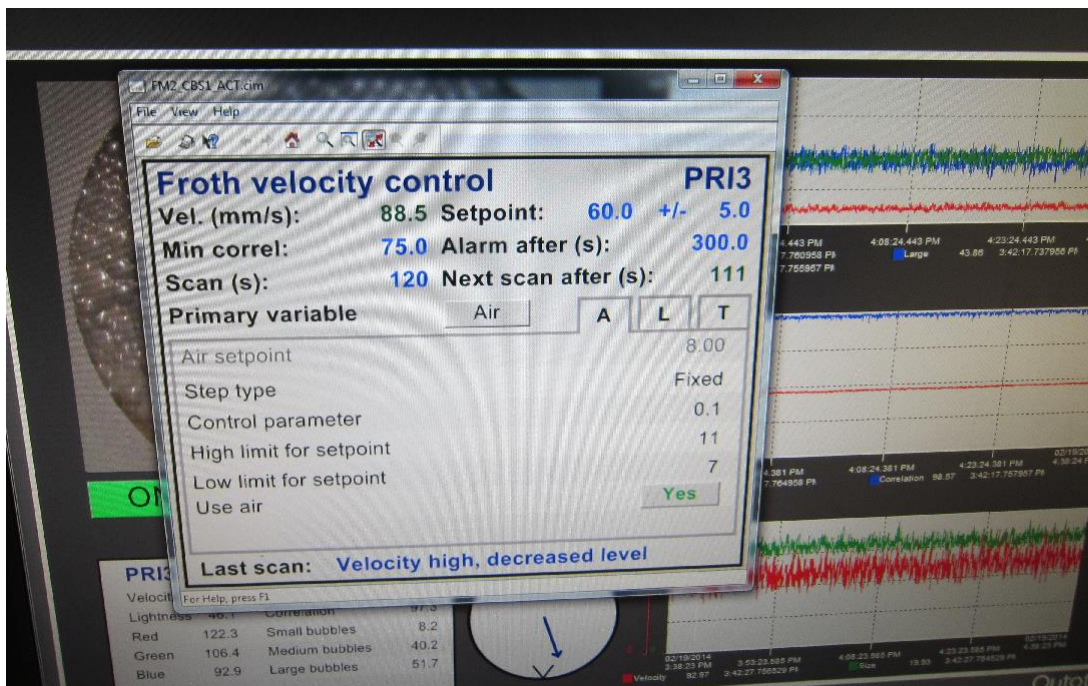
ajossa ei kuitenkaan seurattu kuplakoon jakaumaa, vaahdon stabiilitettä eikä vaahdon kuplien korrelaatiota.

Frothsense ohjaa prim.3 ilmaa ja pinnan korkeutta normaalin automaatiojärjestelmän yli. Frothsenselle asetetaan vaahdonnopeus, jota se alkaa tavoitella ohjaten ilman tilavuusvirtausta ja kennon vaahtopintaa säätelemällä. Ensisijaiseksi suureeksi voidaan valita joko tilavuusvirta tai kennon pinnansäätö. Tässä kokeessa päätettiin ensisijaisena säätösuureena käyttää ilmamäärän säätöä. Ilmamäärän vähentyessä sekoittajan moottori kuormittuu lietetiheyden ollessa suuri. Alhainen ilmamäärä saattaa pysäyttää sekoittajan moottorin ja aiheuttaa kennon lietteen laskeutumisen kennon pohjalle. Sekoittajan käynnistäminen voi vaatia kennon tyhjennyksen. Ilmamäärän ensisijaisella säädöllä haluttiin varmistaa kennon sekoittajan häiriötön toiminta.



Kuva 11. Vaahtokameran näyttö

Kuvassa vaahdonnopeudeksi on asetettu 60mm/s ja vaahdonnopeus on ylittänyt asetetun nopeuden ja on 89,2 mm/s.



Kuva 12. Vaahtokameran parametrien säätöikkuna

Kuvassa asetukseksi vaahdonnopeudelle on asetettu 60mm/s vaihteluvälillä +/-5, ohjelma säätää operointiarvoja 120s välein, ilman yläraja on asetettu 11m³/min ja alaraja 7m³. Jokainen säätö tehdään 0,1m³ askelmilla 120s välein.

10.2 Koeajon tarkoitus

Koeajon tarkoituksena oli selvittää pystytäänkö frothsense-kameran avulla parantamaan prim.3:sen talteensaantia ja rikasteen kuparipitoisuutta. Koeajon aikana keskitettiin tutkimaan vaahdonnopeuden vaikutusta kennon toimintaan. Kemikaalisyyttöä ohjattiin käsisäädöillä DNA:lta ja ainoastaan kennon ilmaa ja pintaa säädettiin kameran avulla. Vaahtokameran koeajon aikana oli mahdollista tarkastella kameran visuaalista informaatiota, joka välittyi valvomoon ja sen hyötyjä. Koeajoverailu tehtiin myös ilman vaahtokamera ohjausta.

10.3 Koeajosuunnitelma

Vaahtokameran koeajo suunniteltiin kolmelle eri vaahdonnopeudelle sekä yhdelle koeajolle ilman vaahtokameraa. Vaahdonnopeuden lisäksi vaahdotuskennojen neljäs-

tä muuttujasta vaahdotusöljyn määrä pidettiin vakiona. Vaahdotusöljyn määräksi asetettiin pitkän aikajakson keskiarvo eli 45ml/min. Ksantaatin määrää muutettiin kolmasti. Ksantaatin määräksi valittiin 400ml/min, 450 ml/min ja 500 ml/min. Ksantaatin määrät ovat hyvin tyypillisiä normaaliajon määriä.

Koeajot jokaisella vaahdonnopeudella kestivät 10 tuntia. Kameran vaahdonnopeus asetettiin yövuoron aikana klo.4 asetusarvoon ja koeajo aloitettiin. Koeajossa päivittäin suoritettiin 3 näytekierrosta. Jokaisessa näytekierroksessa otettiin prim.3:sta kolme näytettä (kauhallista tai putkellista) syötteestä, rikasteesta ja jätteestä noin 20 minuutin välein. Yksi näytekierrros kesti tunnin. Ksantaatin ja vaahdotusöljyn määrä pysyi 10 tunnin koeajon aikana samana. Kolmella eri vaahdonnopeudella tehtiin 9 päivän koeajo. Koeajopäiviä kertyi kokonaisuudessa 12 päivää, joista kolme suoritettiin ilman vaahtokameraa. Näytteitä kerättiin koeajojen aikana 108 kappaletta. Näytteistä analysoitiin XFR-analyysit ja seulat. XRF-analyyseissä analysoidaan rikastamon normaalinäyteiden mukaiset alkuaineet. Jokaisesta näytteestä määriteltiin myös raekokojakaumat. Näytteiden analyyseistä laskettiin päiväkeskiarvo syötteelle, rikasteelle ja jätteelle sekä seuloille.

10.4 Koeajon näytepaikat

Prim.3 syöttölaatikkoon tulevat lietevirrat LM2 syklonin ja esivaahdotuskenno2 ylittäänä, joten syötteen näytteenotto täytyi suorittaa syöttölaatikon sisältä. Syöttölaatikon sisältä otetuissa ensimmäisissä näytteissä huomattiin näytteenvalmistusta haittaavaa kumipurua. Näytteitä ei pystytty kumista johtuen analysoimaan luottavasti. Mahdollisesti kumipuru oli irronnut vaahdotuskennon sisävuorauksesta. Vaahdotuskenno on valmistusvaiheessa vuorattu kumivuorauksella, joka on paikoitellen irronnut lietteen hierovan liikkeen vaikutuksesta. Näistä näytteistä huomattiin myös, että syöttölaatikon yläosassa, josta näyte otettiin, liete vaahdottui ja rikastui jo ennen varsinaiseen vaahdotuskennoon menoa. Syöttölaatikon yläosassa vaahdottuneen lietteen kuparipitoisuus nousi lähelle 8 %. Jouduttiin rakentamaan kuusimetrisen näytteenottimen, jolla pystyimme ottamaan syöttölaatikon pohjaosasta näytteen.

Rikastenäyte otettiin prim.3:n yliterännin juoksuputkesta rikastekaivon päältä.

Jätenäyte otettiin prim.3 peräventtiilin jälkeisestä putkesta välijätekaivon päältä.

Taulukko2. Näytepaikat

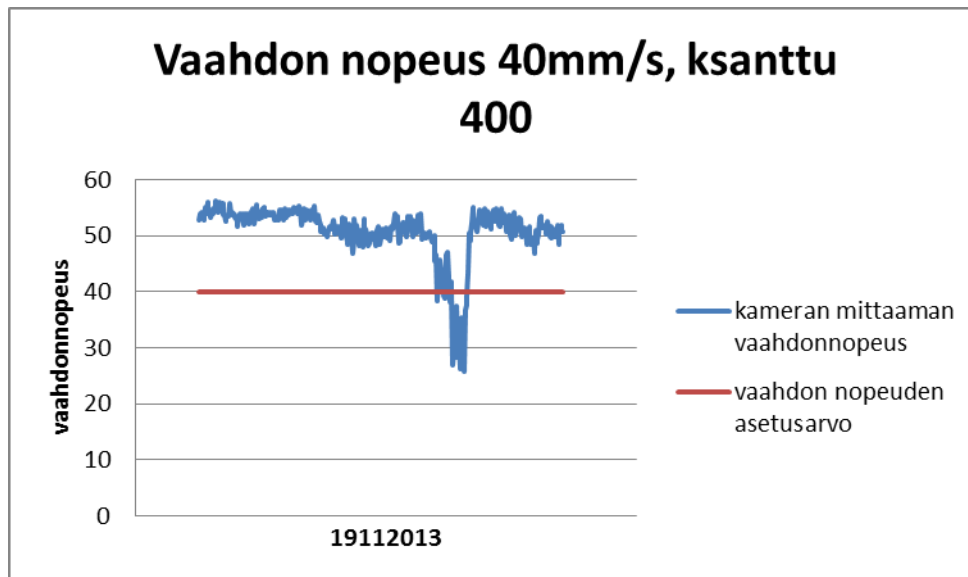
Syöte	Prim.3 syöttölaatikko
Rikaste	Prim.3 yliteputki rikastekaivon päällä
Jäte	Prim.3 aliteputki välijätekaivon päällä

10.5 Koeajon tulosten tarkastelu

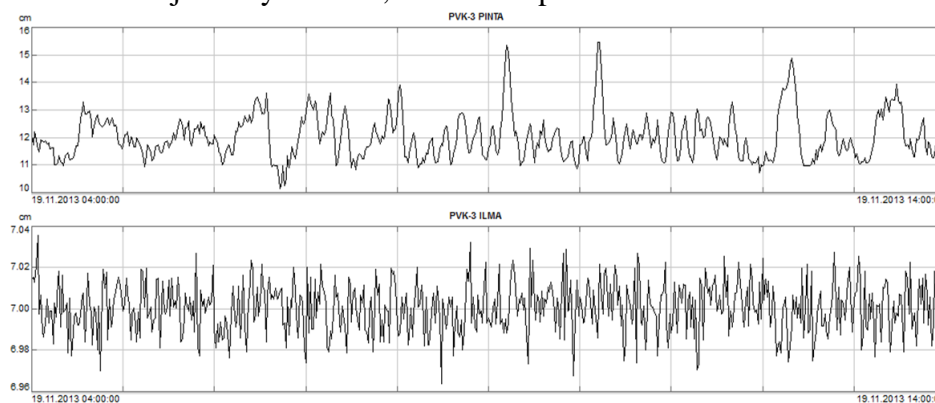
Koeajot on jaoteltu 12 koeajoon. Kolmessa perättäisessä koeajossa vaahdonnopeus on sama ja ksantaatin määrää vaihtelee 400-500ml/min. Jokainen koeajo käsittää päivän aikana otetut kolme näytettä, joiden syötettä, rikastetta, jätettä ja saantia verrataan toisiinsa.

Samalla vaahdonnopeudella ajetuista koeajoista vertaillaan syötettä, rikastetta, jätettä sekä saantia keskenään koeajopäivän keskiarvolla. Raekokoluokkien tuloksia tarkastellaan samalla vaahdonnopeudella ajetuista koeajoista koeajopäivän keskiarvolla.

10.5.1 Koeajo vaahdonnopeus 40mm/

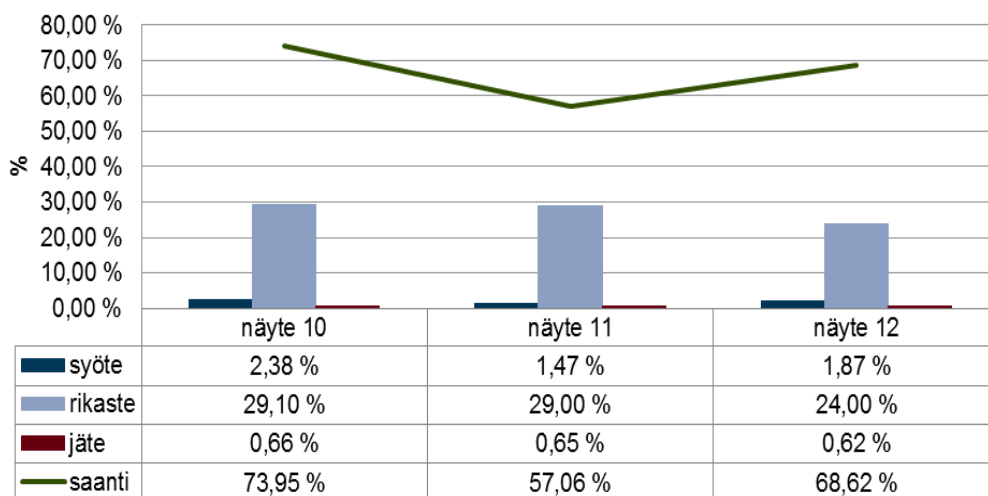
Ensimmäisen koeajon vaahdonnopeus 40mm/s (ksantaatti 400ml/min)

Kuva 14. Koeajo 1/näyte 10-12, vaahdonnopeus 19.11.2013



Kuva 15. Koeajo 1/näyte 10-12, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä.

Näyte 10-12

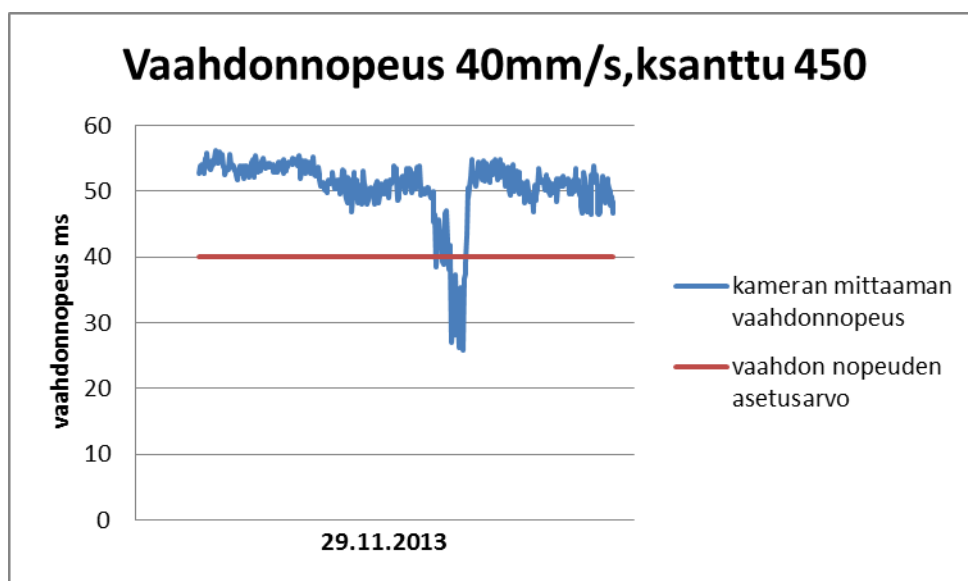


Kuva16.Näytteiden 10-12 syötteen, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

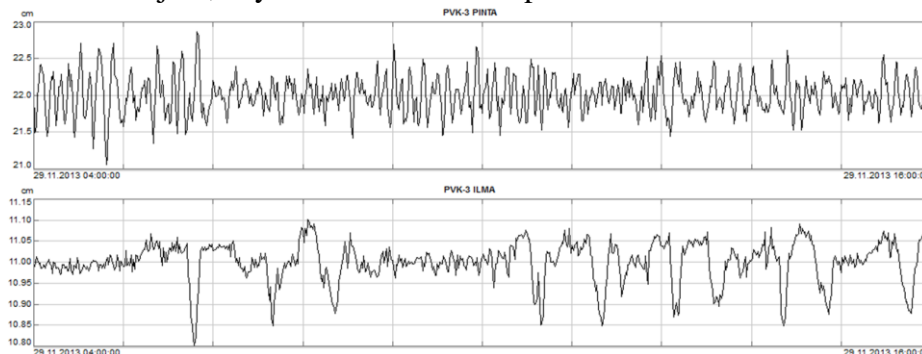
Vaahdonnopeus ylitti asetusarvon nousten 50ms. Yksittäinen vaahdonnopeuden lasku tapahtui aamupäivän aikana, samanaikaisesti päivän toisessa näytteessä syötteen kuparipitoisuuden laski 2,38%:sta 1,47%:n. Syötteen muutokset ovat mahdollisesti vaikuttaneet vaahdonnopeuteen. Rikasteen kuparipitoisuus laski 29%:sta 24%:n syötteen laskiessa. Rikasteen kuparipitoisuus pysyi koko ajojakson hyvällä tasolla. Jätteen kuparipitoisuus laski 0,66%:sta 0,62%. Syötteen laskiessa saanti laski 73%:sta 57%:n.

Pinnanmittaus ja ilmamäärät jaksolla olivat asetusarvojen alarajalla, jolloin kennosto pyrki tekemään rikastepitoisuudeltaan vahvaa rikastetta laihtuneesta syötteestä huolimatta. Kameran vaahdonnopeus ei pysynyt perässä kenties johtuen lietepinnan ja ilmamäärän asetusarvoista. Asetusarvojen skaalaus olisi vaatinut laajempaa vaihteluväliä.

Toisen koeajon vaahdonnopeus 40mm/s, ksantaatti 450ml/min

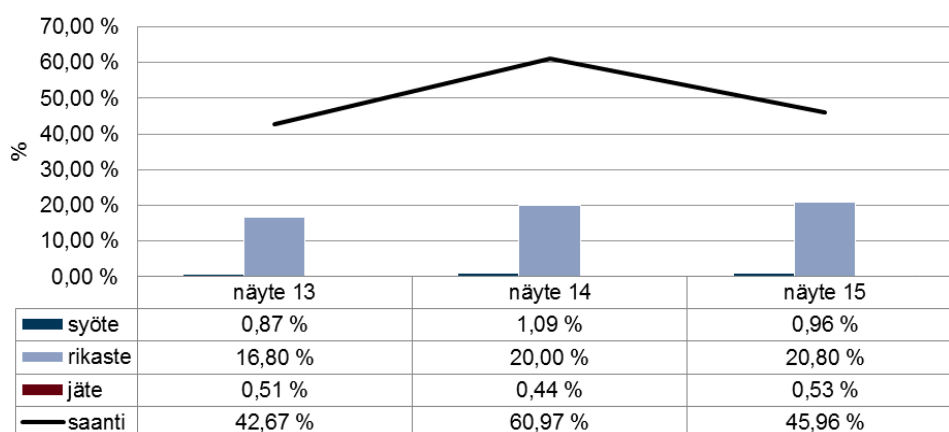


Kuva17.Koeajo 2, näyte 13-15 vaahdonnopeus 29.11.2013



Kuva 18. Koeajo 2, näyte 13-15, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

Näyte 13-15

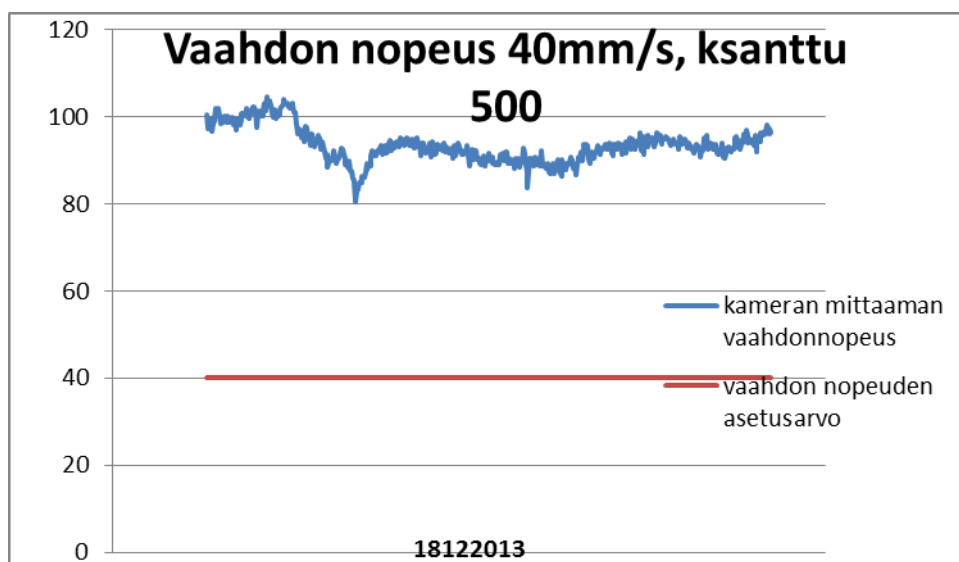


Kuva19. Näytteiden 13-15 syötteen, rikasteet ja jätteet sekä kennon saanti

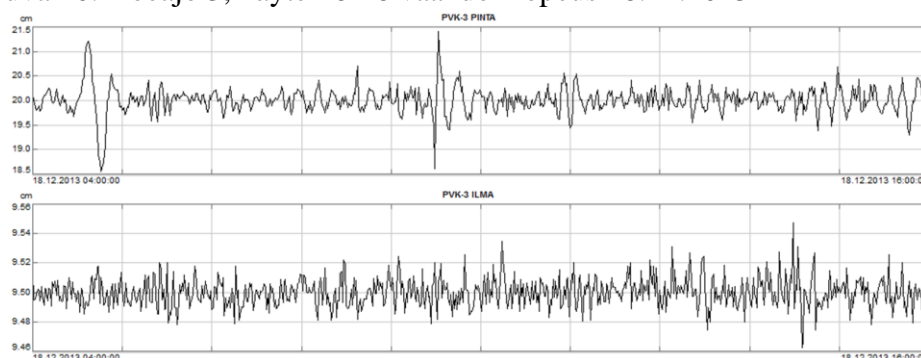
Toiseen koeajoon lisättiin ksantaattia 50ml/min enemmän kuin ensimmäiseen koeajoon. Toteutunut vaahdonnopeus liikkui samalla tasolla kuin ensimmäisellä

koeajossa, kuitenkin tehden pienen notkahduksen 25ms tasolle. Voidaan kuitenkin nähdä vaahdonnopeuden notkahduksen hetkellä ilmamäärän syötössä rauhatonta heilahtelua alas ja ylös. Vaahtopatjan pinta pysyy tasaisella tasolla, johtuen siitä että ensimmäisenä säätösuureena toimii ilma, joka pyrkii tasoittamaan vaahdonnopeutta. Lietepinta ja ilmamäärä kennossa pysyi asetusarvojen ylärajoilla. Syötteen kuparipitoisuus oli jaksolla erittäin matalaa vaihdellen 0,87%:sa 1,09%:n. Rikasteen kuparipitoisuus nousi parhaimmillaan hieman yli 20%. Syötteen matalataso heikensi rikasteen kuparipitoisuutta, eikä ksantaatin lisäyksellä päästy kelvolliseen rikasteen kuparipitoisuuteen. Saanti jäi heikolle tasolle, 50%:n, johtuen matalasta syöttestä.

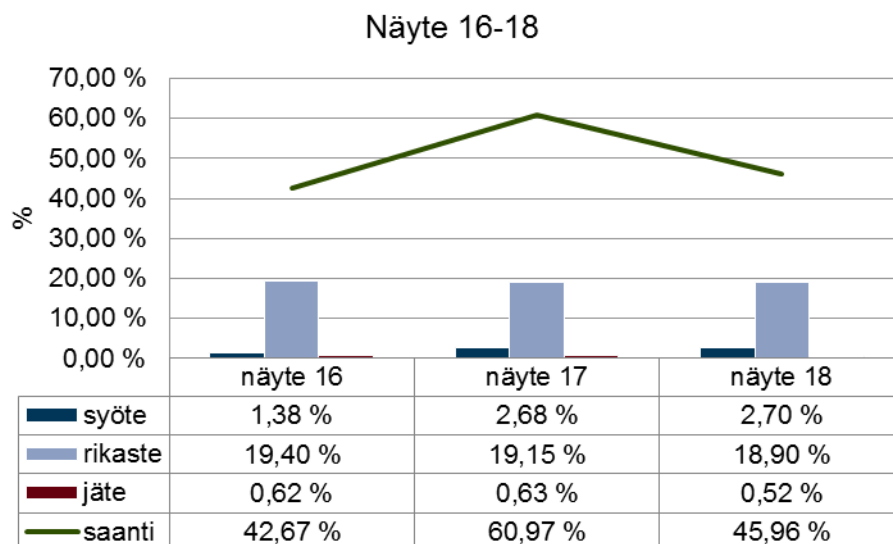
Kolmannen koeajon vaahdonnopeus 40mm/s, ksantaatti 500ml/min



Kuva 20. Koeajo 3, näyte 16-18 vaahdonnopeus 18.12.2013



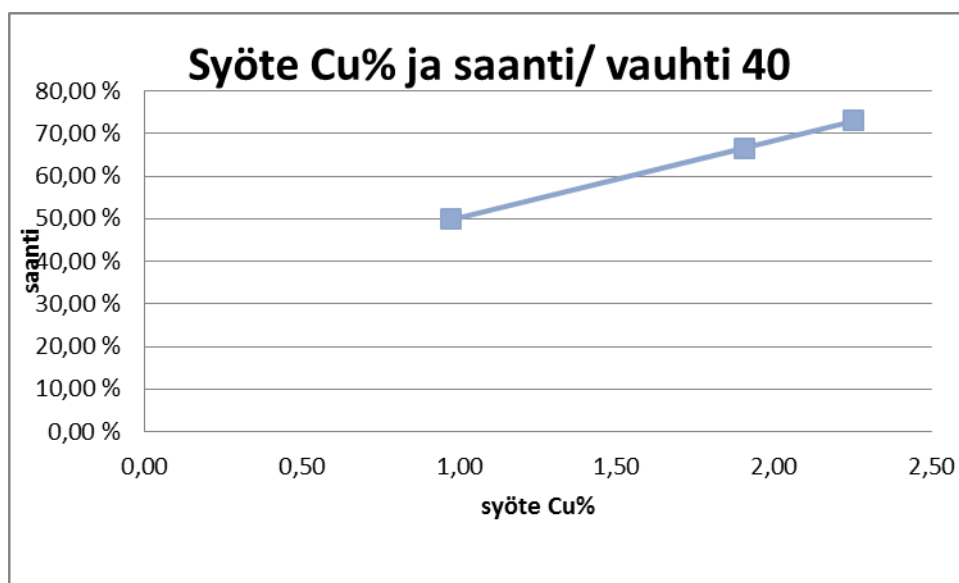
Kuva 21. Koeajo 3, näyte 16-18, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä



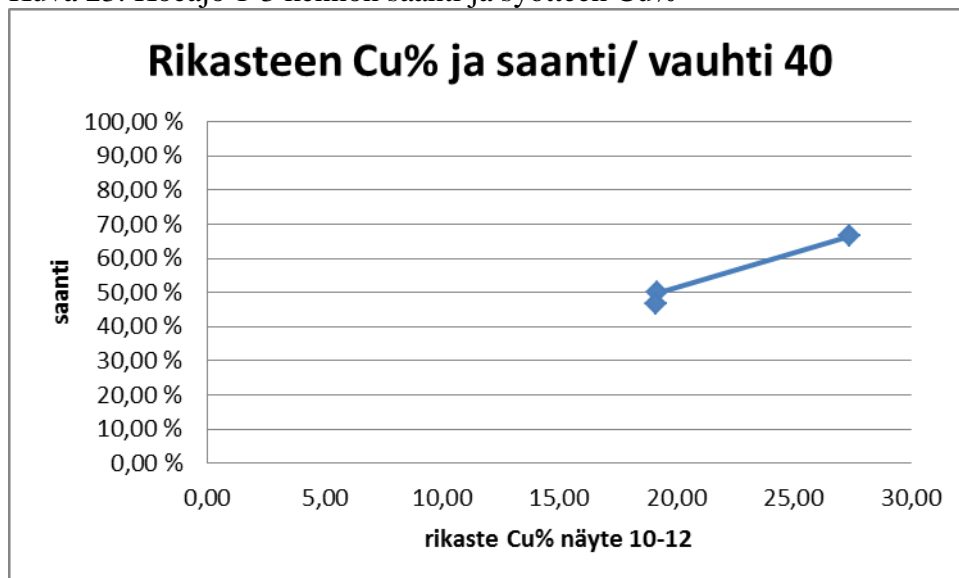
Kuva 22. Näytteiden 16-18 syötteen, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Vaahdonnopeus saavuttanut lähellekään tavoitearvoa vaan liikkui 90mm/s molemmilla puolilla. Lietteenpinta asettui 20cm tasolle ja ilmamäärä 9,5Nm³. Vaahtokamera ei näyttänyt reagoivat pinnanmittauksen ja ilmamäärän mittauksen säädöillä. Syötteen kuparipitoisuus vaihteli 1,38% ja 2,70% välillä. Rikasteen kuparipitoisuus oli laihaa, alle 20%. Pinnanmittauksen ja ilman säädössä olisi ollut vielä reilusti tiputtamisen varaan, tästä johtuen rikaste jäi erittäin laihaaksi. Jätteen kuparipitoisuus asettui välille 0,62-0,52%. Saanti kennossa jäi heikoksi 46,6%. Ksantaatin lisäys ei näyttäisi vaikuttaneen positiivisesti saantiin.

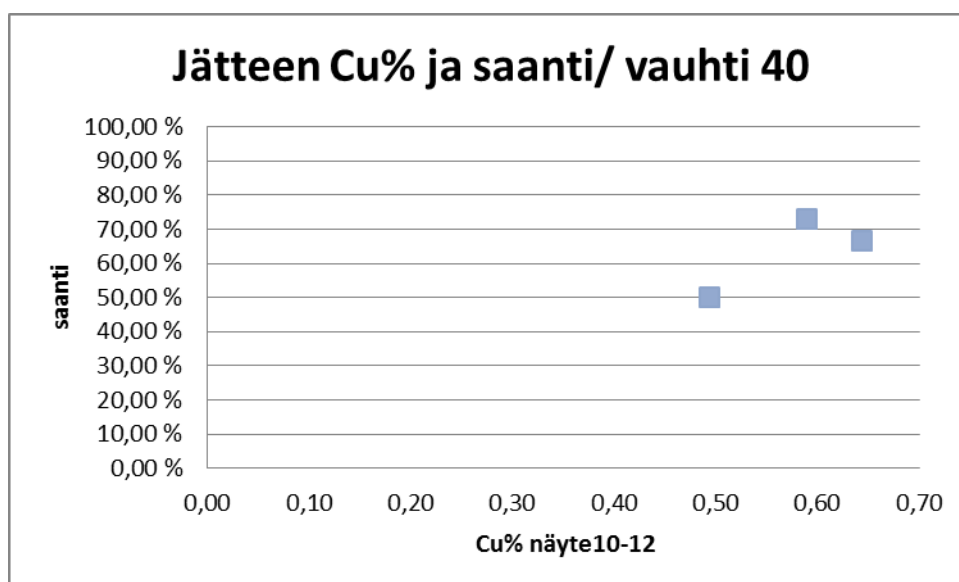
1-3. koeajon vertailu keskenään päivittäisten koeajojen keskiarvolla



Kuva 23. Koeajo 1-3 kennon saanti ja syötteen Cu%



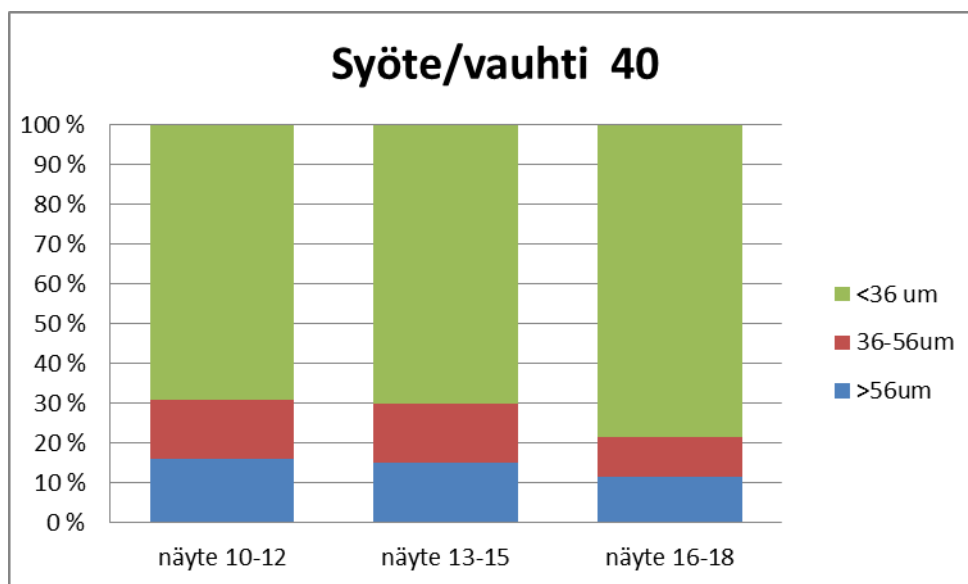
Kuva 24. Koeajo 1-3 kennon saanti ja rikasteen Cu%



Kuva 25. Koeajo 1-3 kennon saanti ja jätteen Cu%

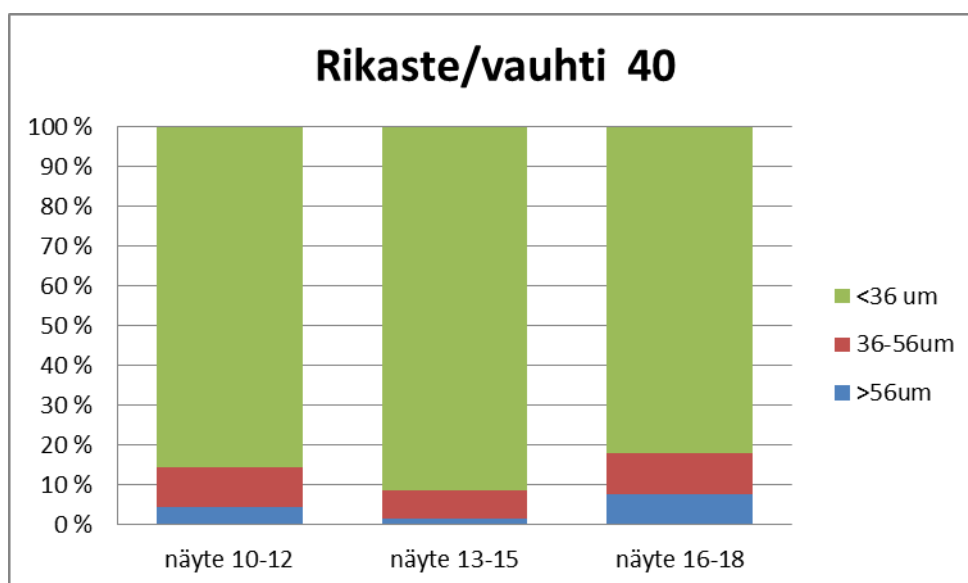
Koeajon vertailujen perusteella korkeampi kuparipitoisuus rikasteessa tuotti paremman saannin, kun taas syötteen kuparipitoisuuden nousulla saatiin saannissa sekä hyvä tulos että heikoin tulos. Ksantaatin syötön ollessa pienin saatiin parasta rikastetta. Kennon vaahtopatjan pinta ja ilmamäärä ensimmäisellä koeajolla olivat kuitenkin alhaisella tasolla mahdollistaen korkean ja rauhallisesti liikkuvan vaahtopatjan sekä kuparipitoisuudeltaan hyvän rikasteen. Koeajon perusteella voidaan sanoa, että tämän kokoisella ksantaatin määrän lisäyksellä on pienempi vaikutus rikasteeseen kuin vaahtopatjan paksuudella sekä ilmamäärällä.

Näytteiden 10-18 partikkelien raekokoluokat päivittäisten koeajojen keskiarvolla



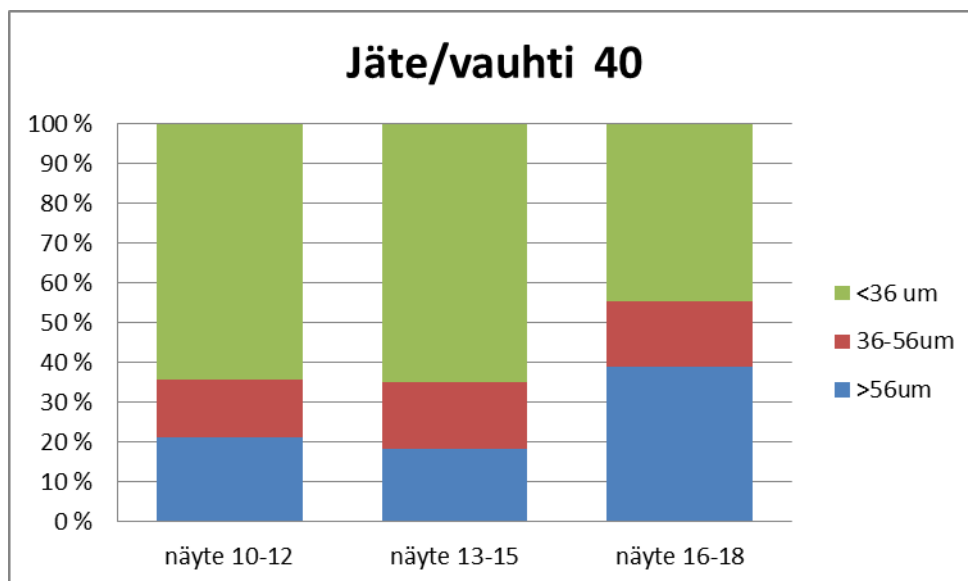
Kuva 26. Näytteiden 10-18 raekoko syötteestä

Syötteen raekoot muistuttivat hyvin paljon eri ajojaksoilla toisiaan. Suurin osa jäi seulasarjalle mesh270 eli 70-80% syötteestä oli alle 36um. Mesh+400 ja mesh-400 osuudet olivat hyvin lähellä toisiaan.



Kuva 27. Koeajo 1-3 raekoko rikasteesta

Rikasteseulojen mukaan voidaan olettaa, että rikasteeseen helpoiten vaahdottuu alle 36um pienemmät partikkelit.

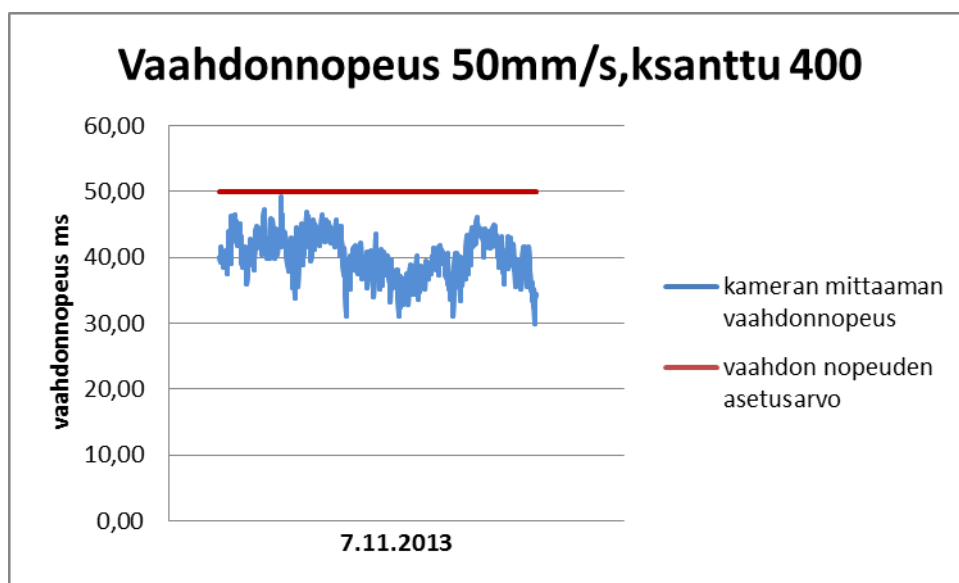


Kuva 28. Koeajo 1-3 raekoko jätteestä

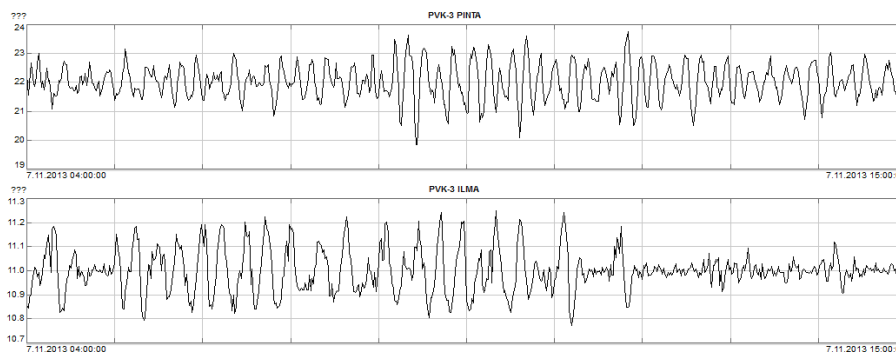
Jätteen seuloista voidaan nähdä, että pienintä partikkelikokoa on eniten. Kahden ensimmäisen koeajon seulat muistuttavat ovat lähes yhdenmukaiset. Viimeisessä koeajossa, jossa ksantaatin määrä oli suurin raekoko jaukama jätteessä oli erilainen, raekooltaan suurinta ja pienintä oli lähes yhtä suuri määrä. Hienot partikkelit ovat nousseet rikasteeseen tai karkeat partikkelit ovat menneet välijätteelle.

10.5.2 Koeajo vaahdonnopeus 50mm/s

Neljäs koeajon vaahdonnopeus 50mm/s (ksantaatti 400ml/min)

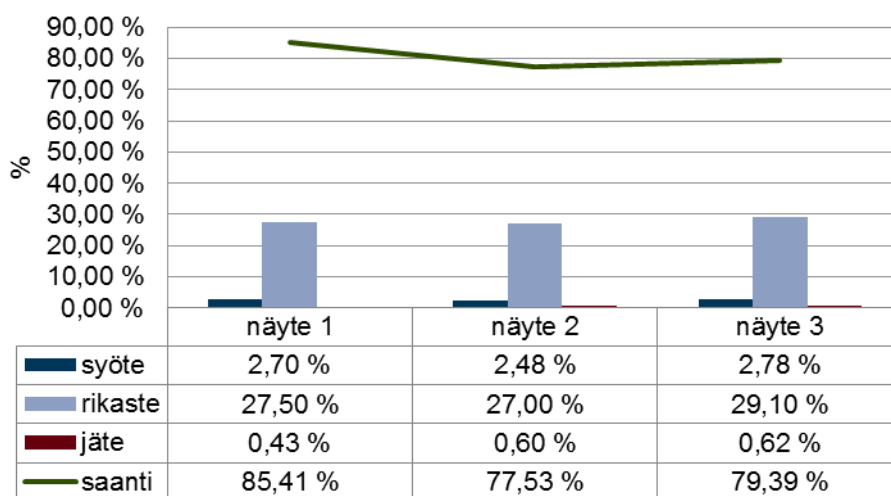


Kuva 29. Koeajo 4, näyte 1-3 vaahdonnopeus 7.11.2013



Kuva 30. Koeajo 4, näyte 1-3, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

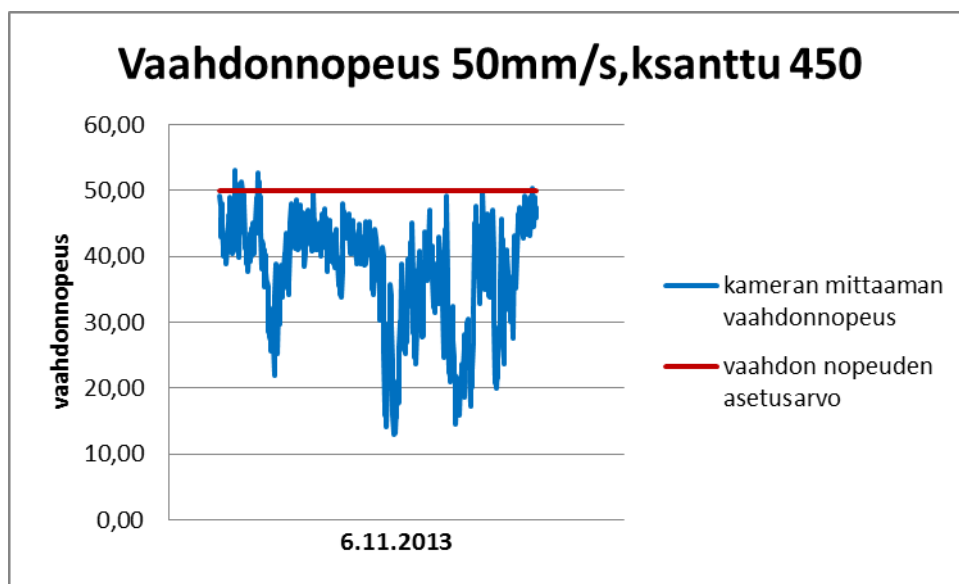
Näyte 1-3



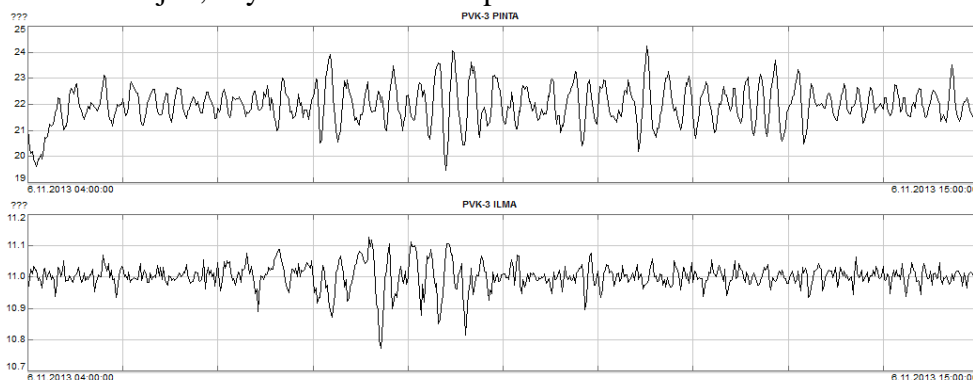
Kuva 31 Näytteiden 1-3, syötteet, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Vaahdonnopeus ei saavuttanut 50mm/s vauhti kuin hetken, muuten vaahdonnopeus jäi alle asetusarvon. Tämä johtui siitä, että kamera oli käyttänyt säätövaransa lietteenpinnan ja ilmamäärän suhteen ja säädöt olivat ylärajalla. Tästä huolimatta hyvällä syötteellä saatiin aikaiseksi erittäin kuparirikasta rikastetta ja kennon saanti pysyi hyvällä 80 % tasolla. Jätteen kuparipitoisuus oli keskimääräistä.

Viides koeajo vaahdonnopeus 50mm/s (ksantaatti 450ml/min)

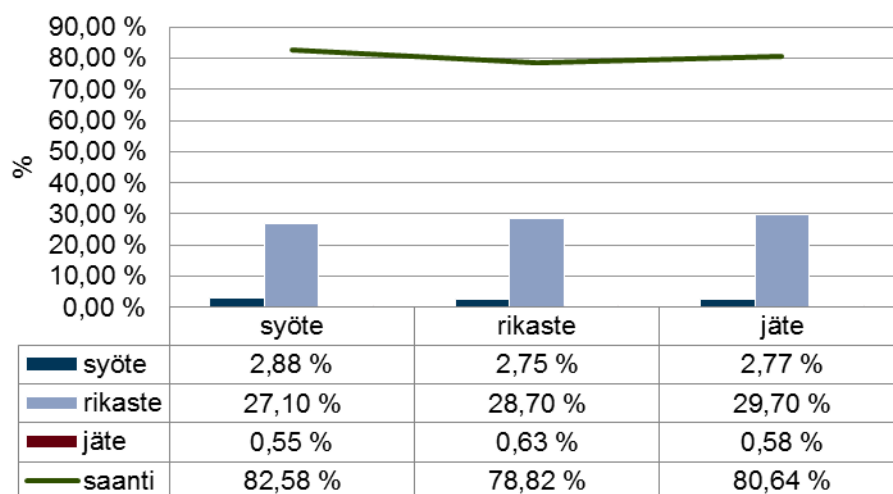


Kuva 32.Koeajo5, näyte 4-6 vaahdonnopeus 6.11.2013



Kuva 33.Koeajo 5, näyte 4-6, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

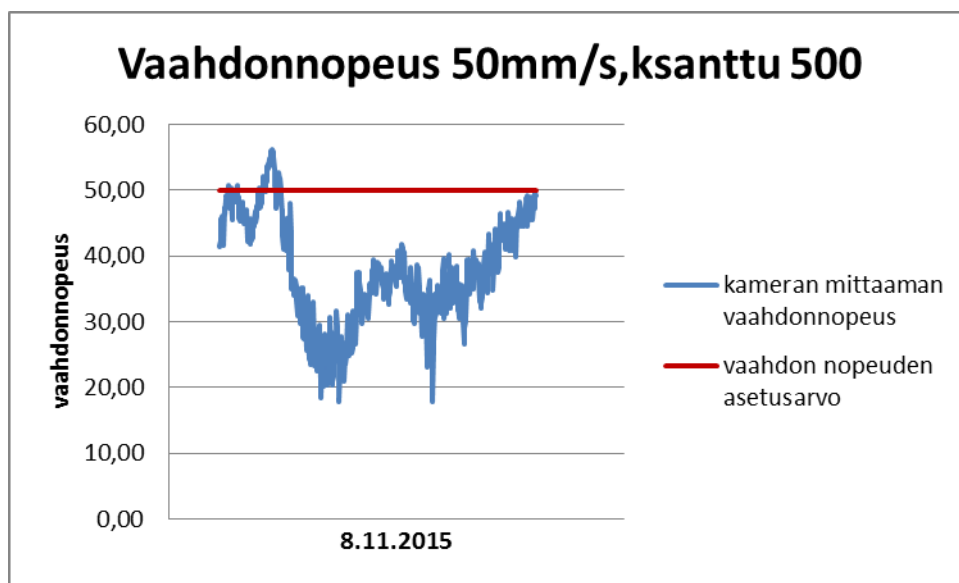
Näyte 4-6



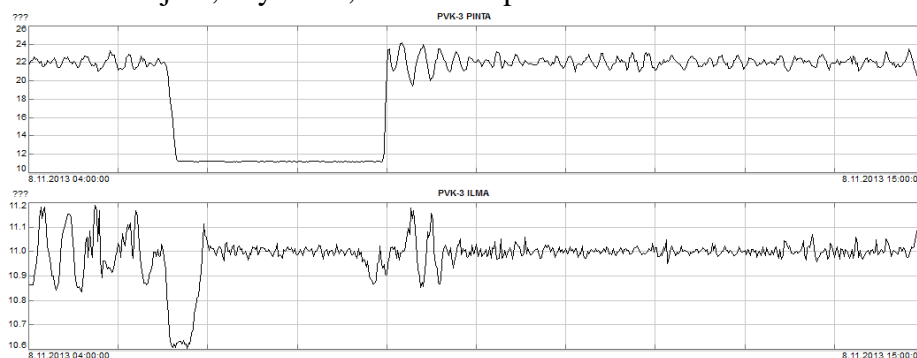
Kuva 35.Näytteiden 4-6, syötteet,rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Koeajoon 4 verrattuna vaahdonnopeuden heilunta on ollut huomattavasti levottomampaa, mutta useammin ollaan päästy tavoiteltuun vaahdonnopeuteen vaikkakin hetkellisesti. Syöte ja rikaste ovat olleet koeajopäivän aikana tasaisia ja hyvällä tasolla. Jätteellä heiluntaa on ilmennyt enemmän. Kennon saanti on ollut hyvää, samoin kuin edellisessäkin koeajossa. Keskimääräisesti koeajo on ollut edellisen kaltainen poislukien ksantaatin syötön nosto ja vaahdonnopeuden heilunta ovat olleet erottavina tekijöinä.

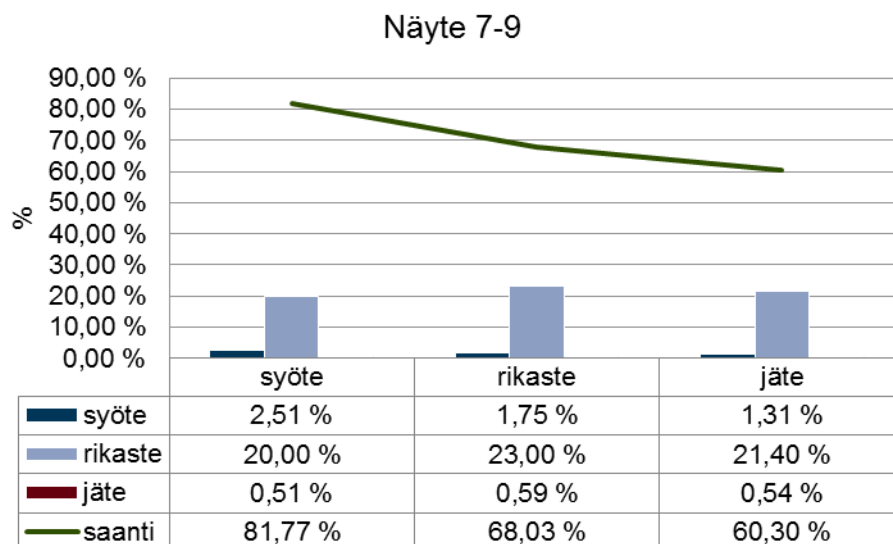
Kuudes koeajon vaahdonnopeus 50mm/s (ksantaatti 500ml/min)



Kuva 36.Koeajo 6, näyte 7-9, vaahdonnopeus 8.11.2013



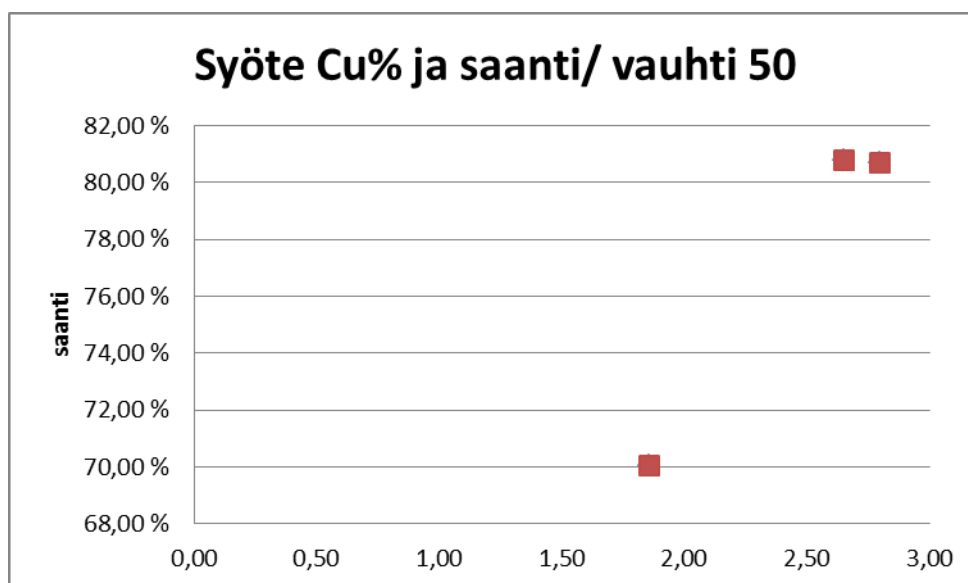
Kuva 37.Koeajo 6, näyte 7-9, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä



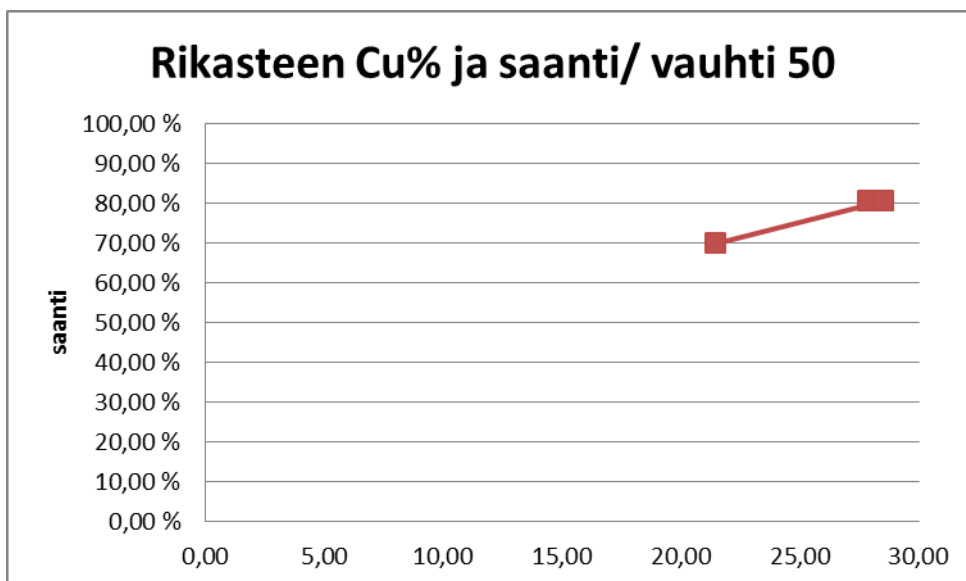
Kuva 38. Näytteiden 7-9, syötteet, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Koeajon alussa kello 6-8 lohcarejakokuljettimen turvalaitteet olivat rikki ja lohcaremyllyt jouduttiin ajamaan alas kahdeksi tunniksi. Tästä johtuen kennon pinnanmittaus on ajettu alas sekä ksantaatin ja vaahdotusöljyn syöttö katkaistu. Kameran grafiikka näyttää, että vaahdonnopeus on hidastunut ja syötön katkon jälkeen vaahdonnopeus on hitaasti noussut ylöspäin kohti asetusarvoa. Kennon stabiliointi alasajon jälkeen kestää useita tunteja, joten kennosta saatuja tuloksia ei voida pitää luotettavina.

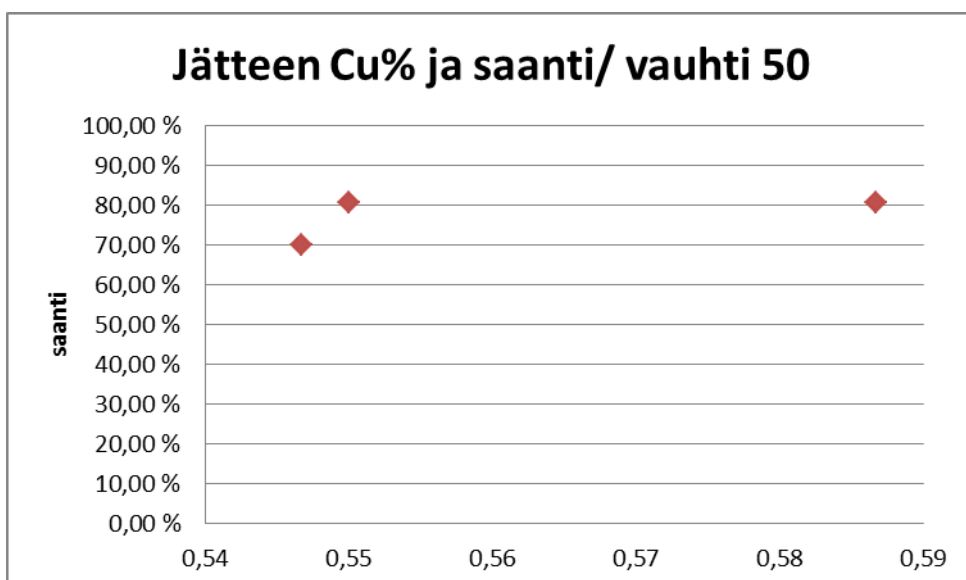
4-6. koeajon vertailu keskenään päivittäisten koeajojen keskiarvolla



Kuva 39. Koeajo 4-6 kennon saanti ja syötteen Cu%



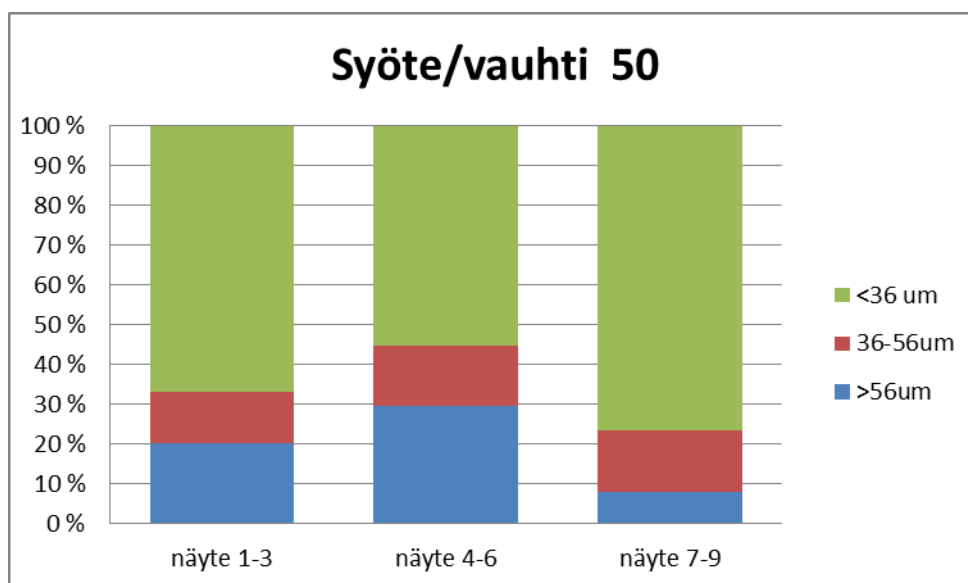
Kuva 40. Koeajo 4-6 kennon saanti ja rikasteen Cu%



Kuva 41. Koeajo 4-6 kennon saanti ja jätteen Cu%

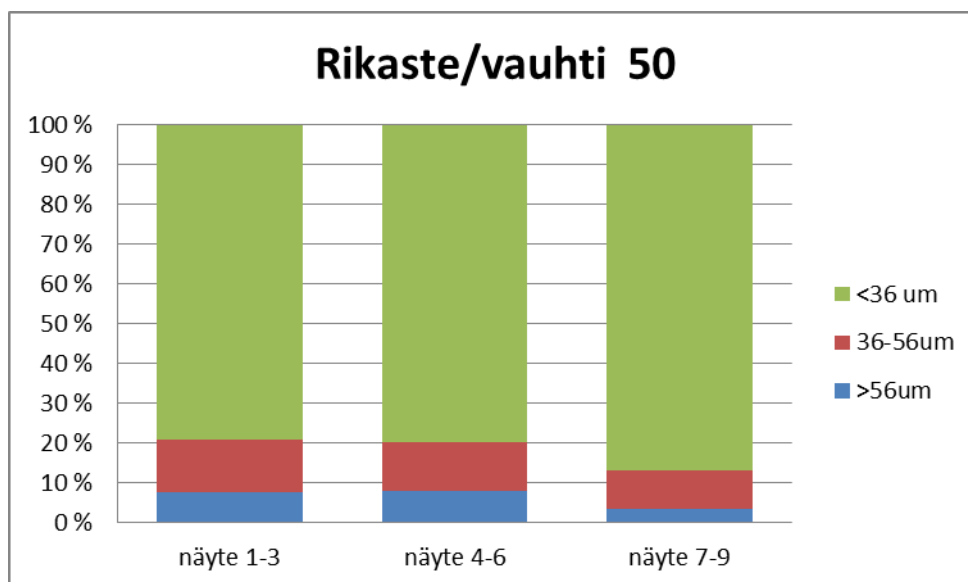
Syötteen Cu-rikastepitoisuuden ollessa korkea saatiin kennosta rikastepitoisuudeltaan hyvää rikaste. Kennon lietteenpinta ja ilmamäärä pystyttiin pitämään korkealla. Näyttäisi siltä, että lietteen tasainen kuparipitoisuus helpottaa tasaisen rikasteen syntyä.

Näytteiden 10-18 partikkelien raekokoluokat päivittäisten koeajojen keskiarvolla



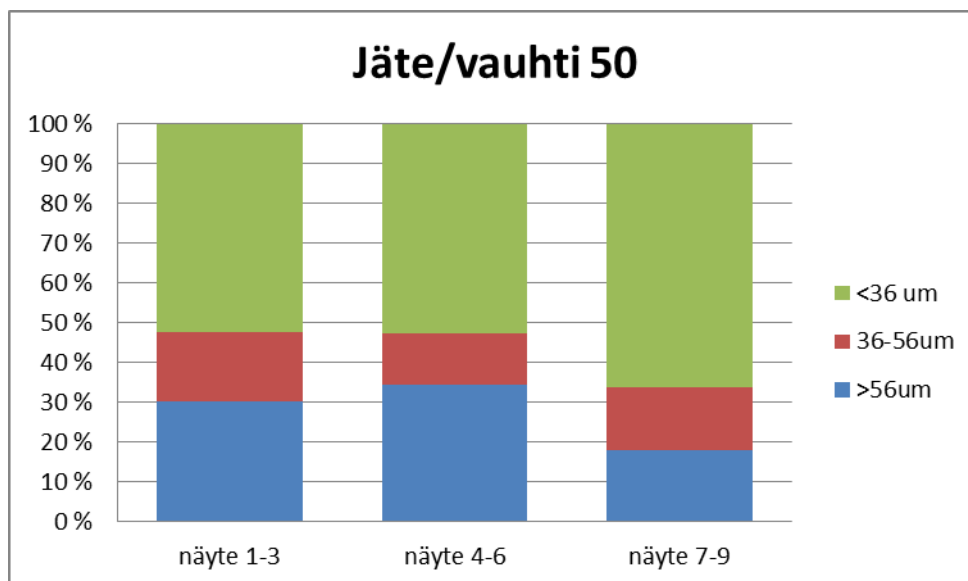
Kuva 42. Näytteiden 1-9 raekoko syötteestä

Syötteestä yli 50% on raekooltaan pienempää kuin 36um. Raekokojaukauma vastaa hyvin koeajojen 1-3 jakaumaa.



Kuva 43. Näytteiden 1-9 raekoko rikasteesta

Rikasteeseen vaahdotuu helpoiten alle 36um partikkelit. Sama oli huomattavissa koeajosarjassa 42.

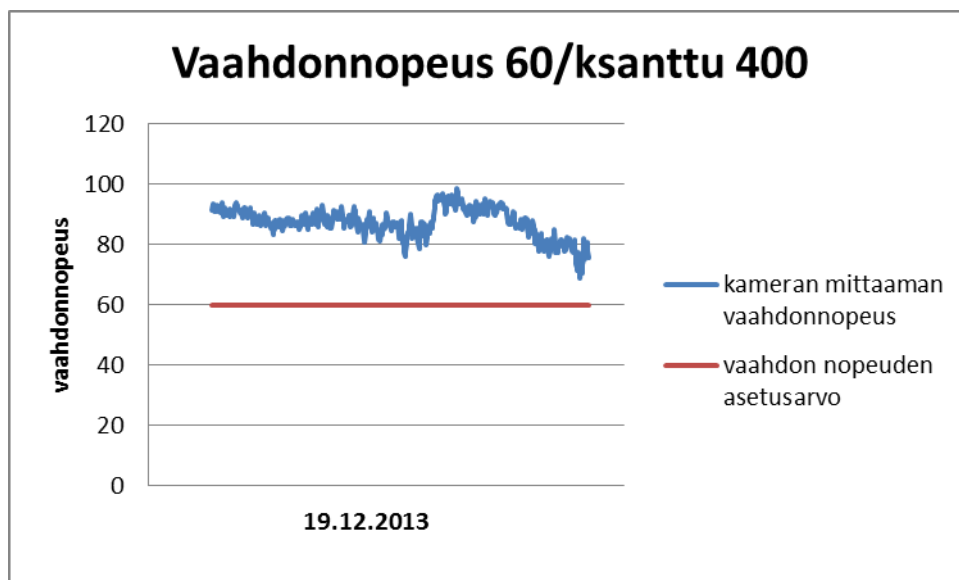


Kuva 44. Näytteiden 1-9 raekoko jätteestä

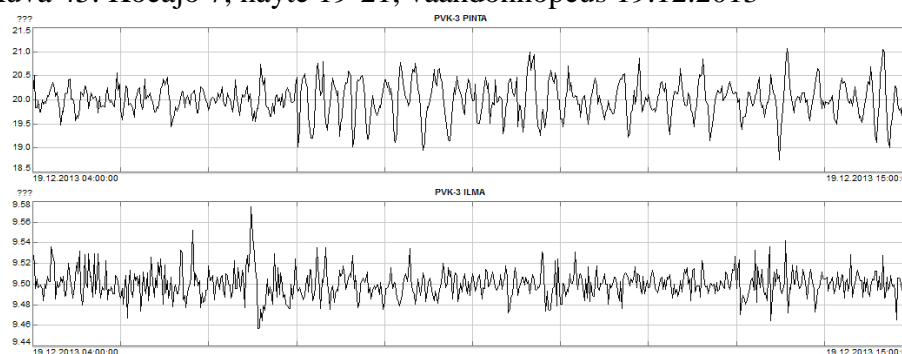
Tämän koeajosarjan jätteen raekoot noudattelevat koeajosarjan 43 luonnetta. Jätteeseen jää tasaisemmin raekoot kaikista luokista. Kennoston pohjalle jää suurempaa partikkeleita, jotka eivät jaksaa pysyä kuplaston pinnalla vaan tipahtavat kennon pohjalle. Diagrammista huomataan kyseinen ilmiö sinisen palkin kasvuna. Ksantaatin määrä vaikuttaa haluttujen partikkeleiden kiinnittymisen kuplaan. Koeajosarjan ksantaatin lisäyksillä ei näytä olevan suurta eroa myöskään raekoon vaihteluissa.

10.5.3 Koeajo vaahdonnopeus 60mm/s

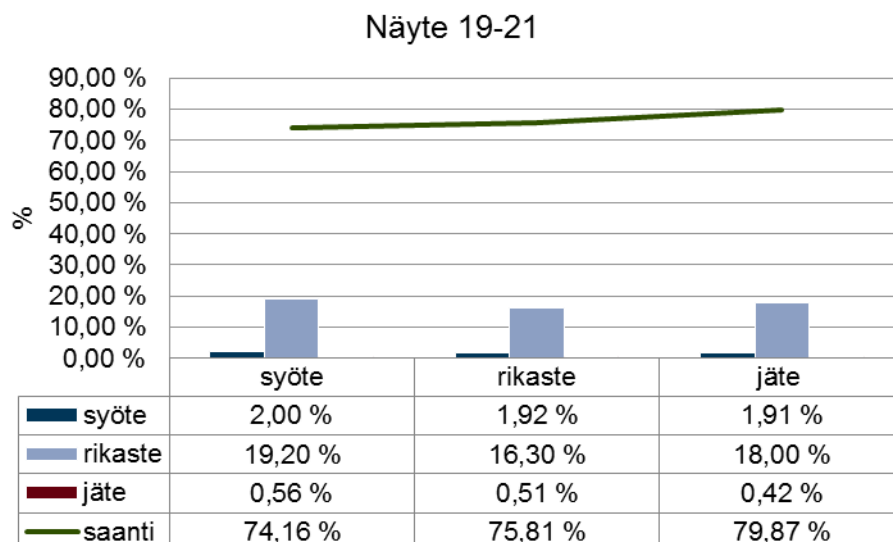
Seitsemäs koeajo vaahdonnopeus 60mm/s (ksantaatti 400ml/min)



Kuva 45. Koeajo 7, näyte 19-21, vaahdonnopeus 19.12.2013



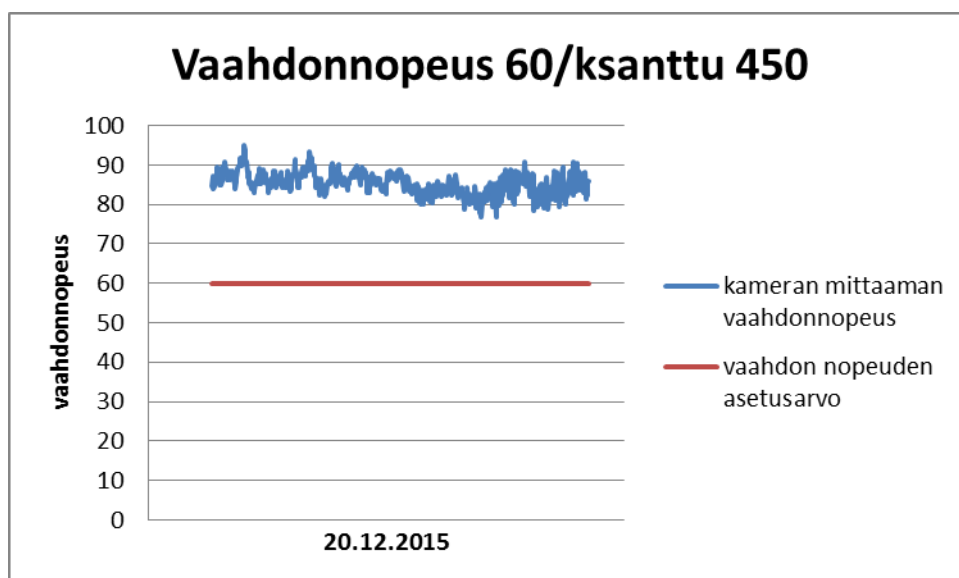
Kuva 46. Koeajo 7, näyte 19-21, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä



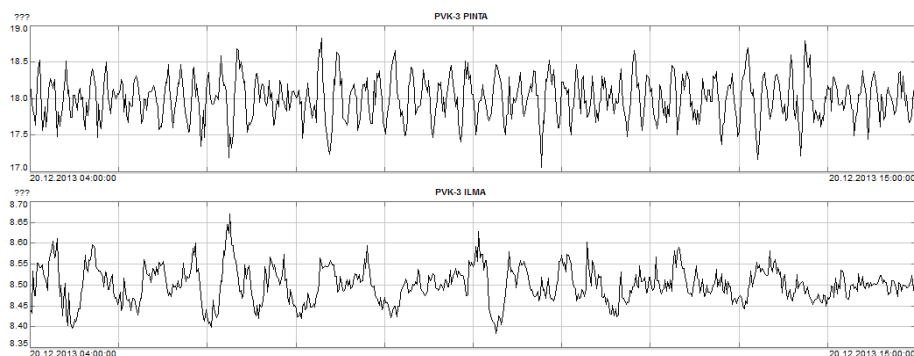
Kuva 47. Näytteiden 19-21, syötteen, rikasteen ja jätteen sekä kennon saanti

Kennon saanti pysyi kelvollisella tasolla, mutta rikasteen kuparipitoisuus oli erittäin heikkoa. Jätteeseen tosin jäi vähäisesti kuparia. Vaahdonnopeus ylitti asetusarvon eikä edes lähestynyt tavoitetta, pinnanmittauksessa ja ilmamäärissä olisi vielä ollut säätövaroja. Jos kameran ohjaus olisi laskenut kennon pintaa ja ilmamäärää, rikasteesta olisi saatu pitoisuudeltaan korkeampaa ja vaahdonnopeuskin olisi laskenut.

Kahdeksas koeajo vaahdonnopeus 60mm/s (ksantaatti 450ml/min)

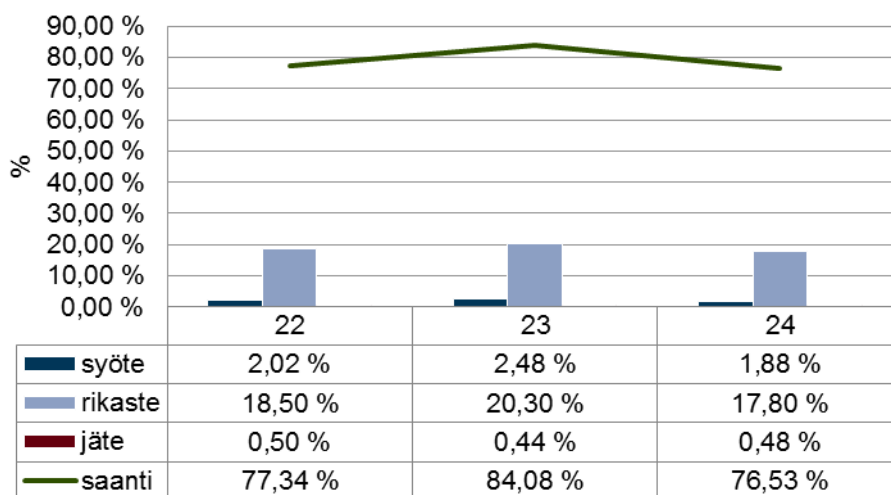


Kuva 48. Koeajo 8, näyte 22-24, vaahdonnopeus 20.12.2013



Kuva 49.Koeajo 7, näyte 22-24, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

Näyte 22-24

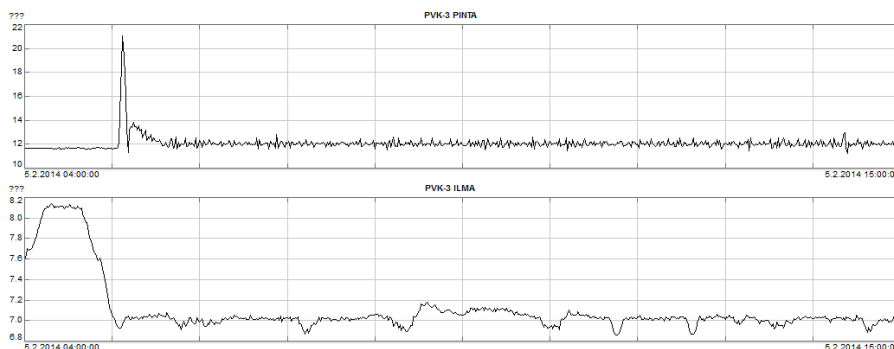


Kuva 50. Näytteiden 22-24, syötteet, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Kennon saanti oli hyvällä tasolla lähellä 80 %, syötteen vaihdellessa 1,88 % - 2,48 %. Rikaste kuitenkin jäi alhaiselle tasolle alle 22 %, joka on sulaton kuonarikasteen tavoitetaso. Jätteen taso oli hyvin alhaisella tasolla primäärivaahdotuksen jälkeen.

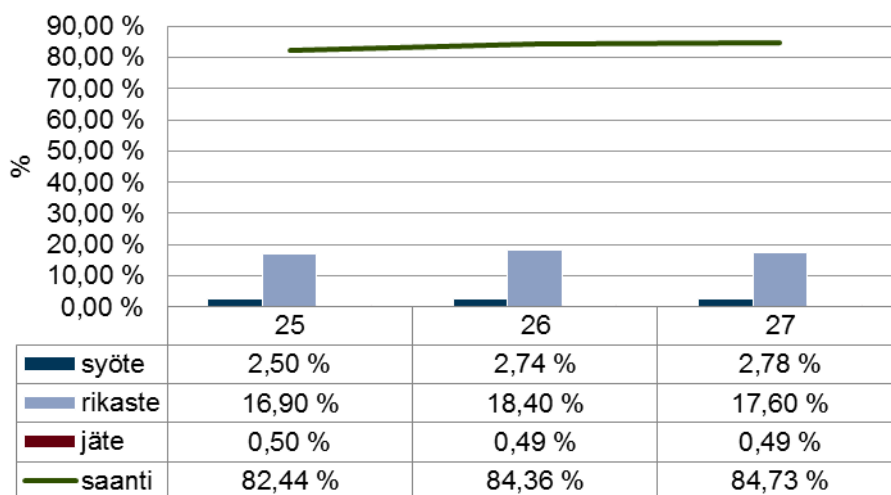
Vaahdonnopeus ei tälläkään kertaa laskenut asetusarvon tasolle, säätövaroja olisi kyllä ollut vaahtopatjan pinnan ja ilmamäärän asetuksissa jäljellä. Rikasteen kupari-pitoisuuden hienoinen nousu edelliseen koeajoon nähden voidaan tulkita tapahtuneen lietteenpinnan ja ilmamäärän laskusta.

Yhdeksäs koeajo vaahdonnopeus 60mm/s (ksantaatti 500ml/min)



Kuva 51.Koeajo 8, näyte 25-27, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

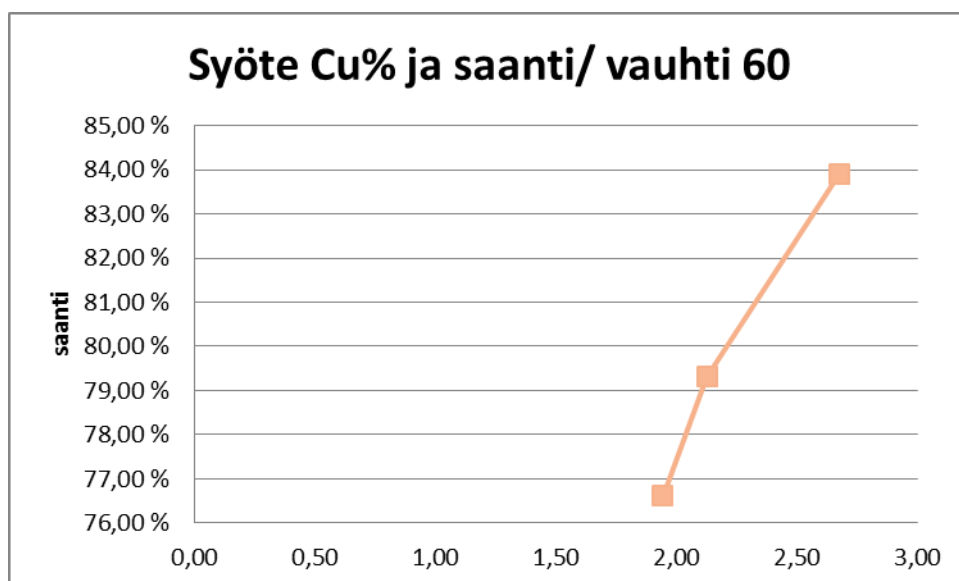
Näyte 25-27



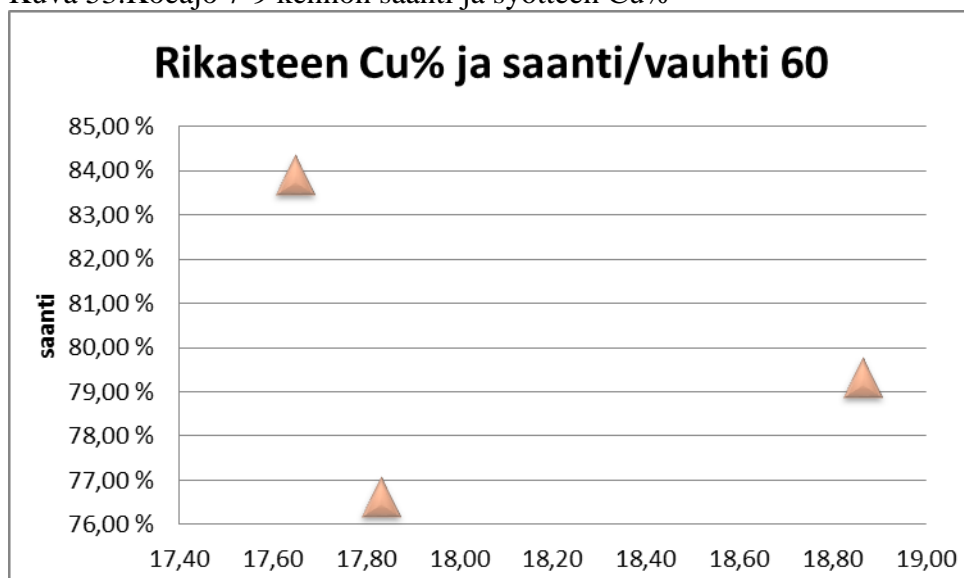
Kuva 52 Näytteiden 25-27, syötteen, rikasteen ja jätteen sekä kennon saanti

Koeajon 52 kameratieto ei ollut tallentunut koneen muistiin, joten joudutaan tarkastelemaan ainoastaan Wedgestä saatua tietoa sekä analyysien mukaisia tuloksia. Syötteen kuparipitoisuus oli kennossa koko päivän hyvällä tasolla ja jäte jäi alhaiselle tasolle, mutta rikasteen kuparipitoisuus jäi heikoksi. Saanti pysyi hyvällä tasolla syötteen kuparipitoisuudesta johtuen. Kennon lietepinnan ja ilmamäärän säädöt olivat ajojakson alarajoilla. Rikasteen kuparipitoisuuden nousu olisi ollut odotettavaa syötteen kuparipitoisuuden ollessa korkealla.

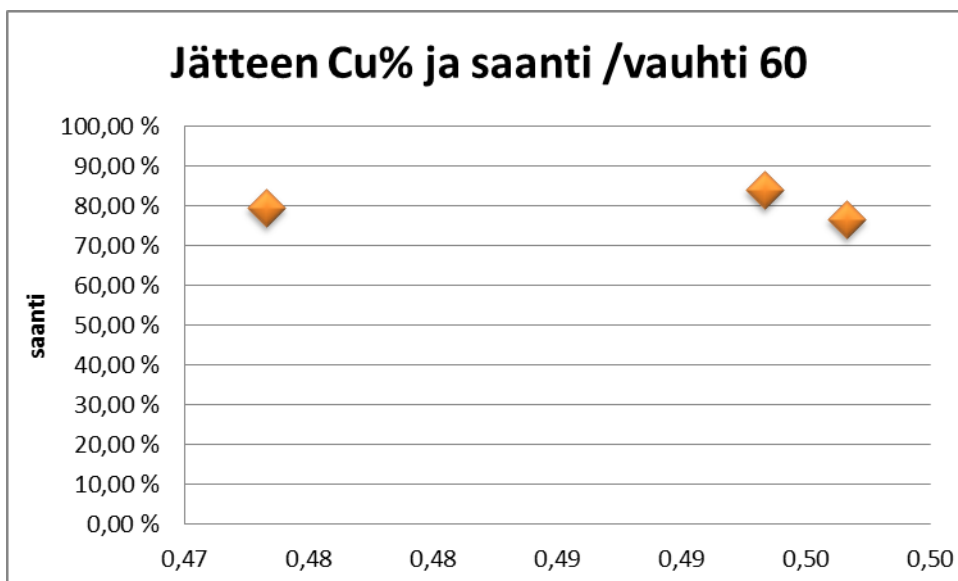
7-9. koeajon vertailu keskenään päivittäisten koeajojen keskiarvolla



Kuva 53. Koeajo 7-9 kennon saanti ja syötteen Cu%



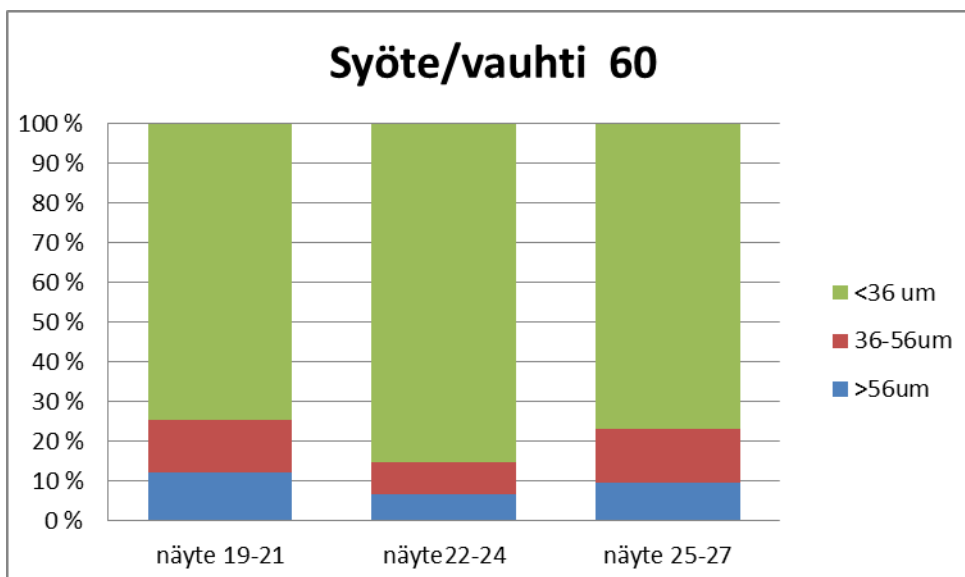
Kuva 54. Koeajo 7-9 kennon saanti ja rikasteen Cu%



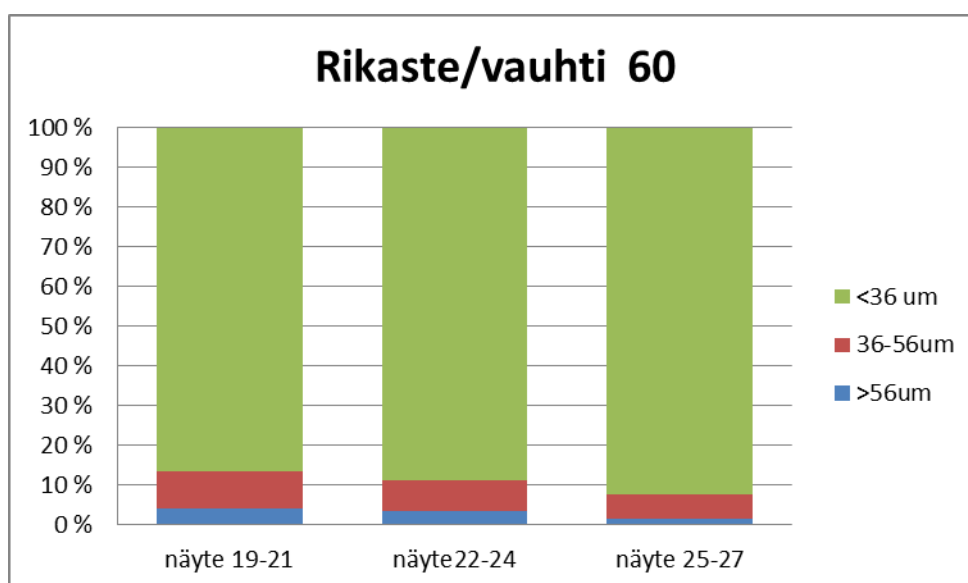
Kuva 55. Koeajo 7-9 kennon saanti ja jätteen Cu%

Syötteen rikastepitoisuuden ollessa korkea kennon saanti parani, mutta rikasteen kuparipitoisuus jäi heikoksi. Jätteen kuparipitoisuus muutos oli vähäinen eikä juurikaan vaikuttanut näin ollen kennon saantiin.

Näytteiden 19-27 partikkelien raekokoluokat päivittäisten koeajojen keskiarvolla

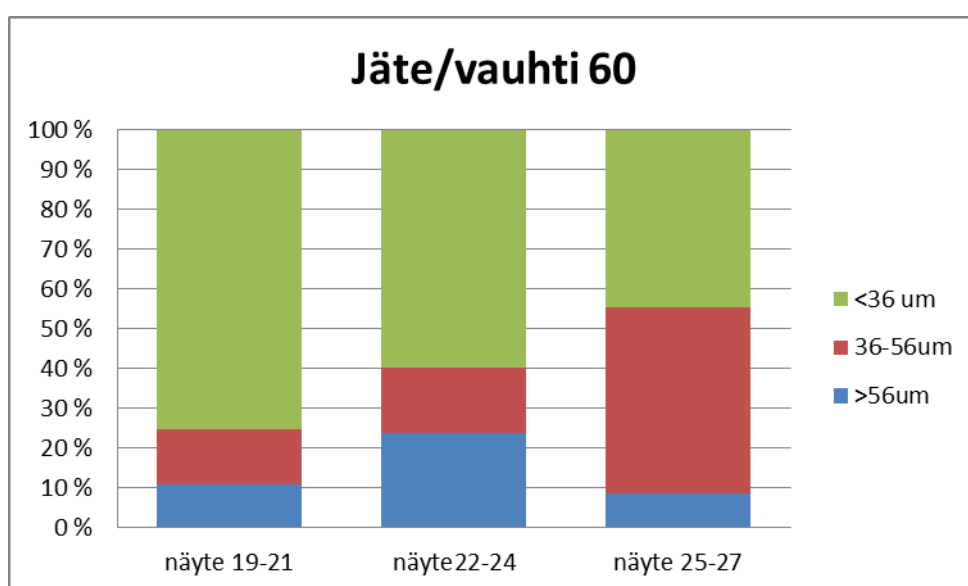


Kuva 56. Näytteiden 19-27 raekoko syöttestä
Aikaisempiin koeajoihin nähden syötteen raekoossa alle 36um oli pientä nousua. Esivaahdotuskennon ylite, joka pumpataan primäärinenno 3:n saattaa vaikuttaa pienen partikkelikoon hallitsevuuteen kokonaissyöttestä.



Kuva 57. Näytteiden 19-27 raekoko rikasteesta

Rikasteeseen vaahdottuu eniten pientä partikkelikokoa olevat partikkelit, kuten ollaan aikaisemmissa koeajoissa huomattu.



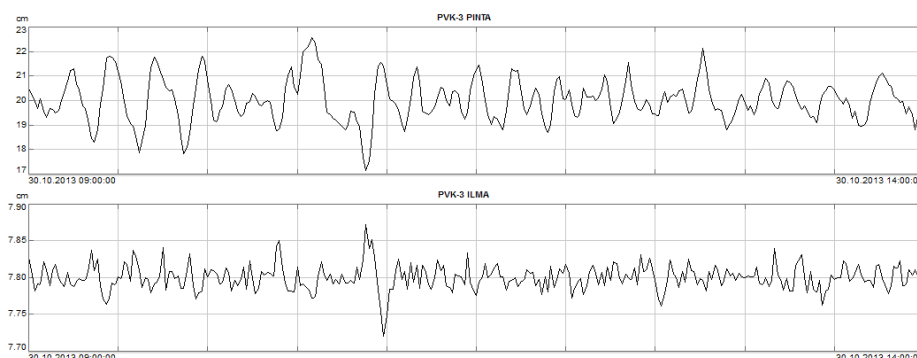
Kuva 58. Näytteiden 19-27 raekoko jätteestä

Viimeisessä koeajossa näkyi suuri vaihtelu varsinkin keskikokoisen partikkelikoon ryhmässä, jonka määrä kasvoi suuresti vähentäen isojen ja pienin raekokoluokkien määrää. Näyte 25-27 koeajossa vaahtopatjan korkeus on ollut hyvin matalalla, jolloin saattaa olla että keskisuuret partikkelit eivät ole jaksaneet pysyä kuplastossa kiinni matkallaan ylös kennon pinnalle vaan ovat tipahtaneet alas ja jääneet kennoston

pohja lietteeseen ja näin kulkeutuneet jätteelle. Ksantaatin lisäys ja kuplakoon mahdollinen pientäminen olisivat saattaneet auttaa asiaa.

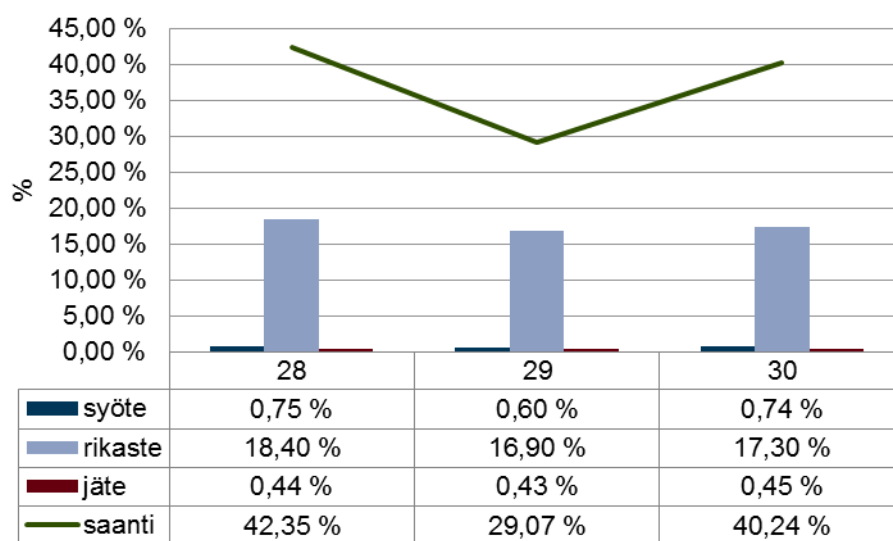
10.5.4 Koeajo ilman kameraa

10. koeajo ilman kameraa (ksantaatti 400ml/min)/30.10.2013



Kuva 59. Koeajo 7, näyte 28-30, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

Näyte 28-30



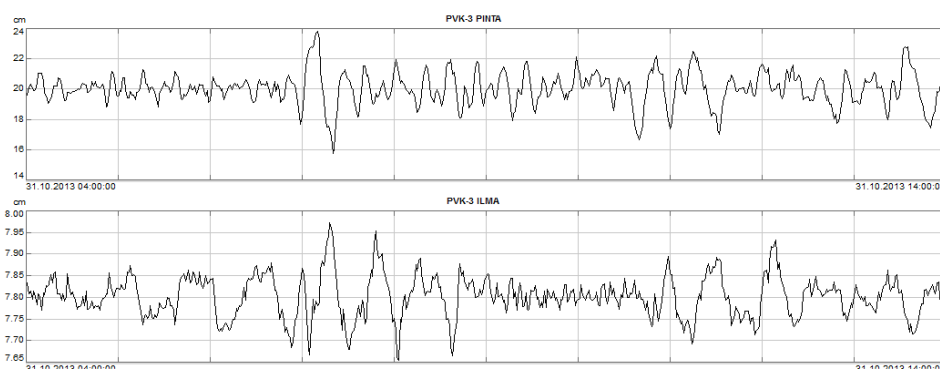
Kuva 60. Näytteiden 28-30, syötteen, rikasteen ja jätteen sekä kennon saanti

Viimeinen koeajosarja tehtiin ilman kamerajohjausta. Jokaisessa koeajojaksossa syötteen kuparipitoisuus oli erittäin alhainen. Syötteen alhaisuus vaikuttaa vahvasti saantiin sekä rikasteen kuparipitoisuuteen. Tämä toteutui tässäkin koeajopäivässä, jossa ksantaatin määrä oli alhaisin. Operaattoreiden toimesta pinnankorkeus pidettiin

normaalitasolla eli 20cm:n korkeudella ja ilmamäärä 8Nm^3 on hyvin keskimääräinen määrä.

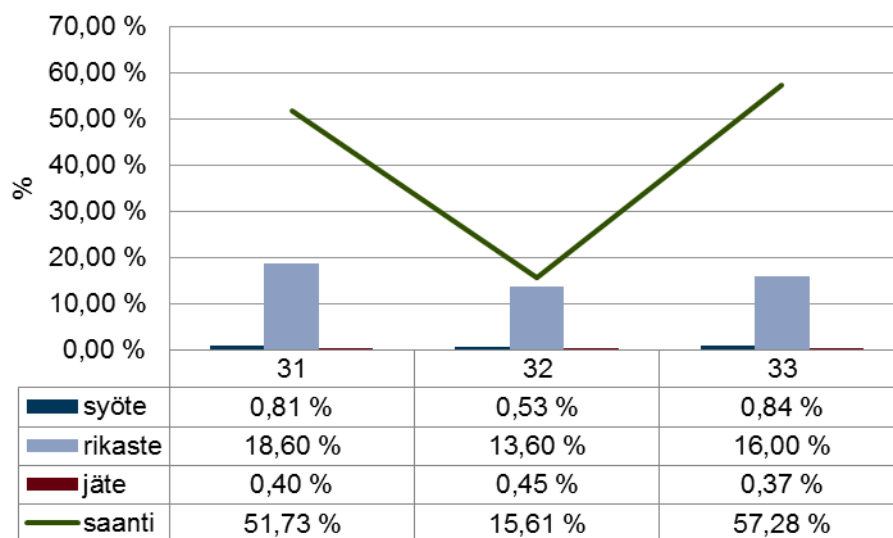
Lietteenpinnan korkeutta ja kemikaalien määrää voitaisiin säätää, jos operaattorilla olisi reaaliaikaista kennotietoa saatavilla. Rikasteen on-line-data, joka saadaan rikastekaivon jälkeen sulattoon pumpattavasta rikastelinjasta kertoo kokonaisrikasteen kuparipitoisuuden, ei yksittäisen kennon rikastepitoisuutta.

11. koeajo ilman kameraa (ksantaatti 450ml/min)/31.10.2013



Kuva 61. Koeajo 11, näyte 31-33, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

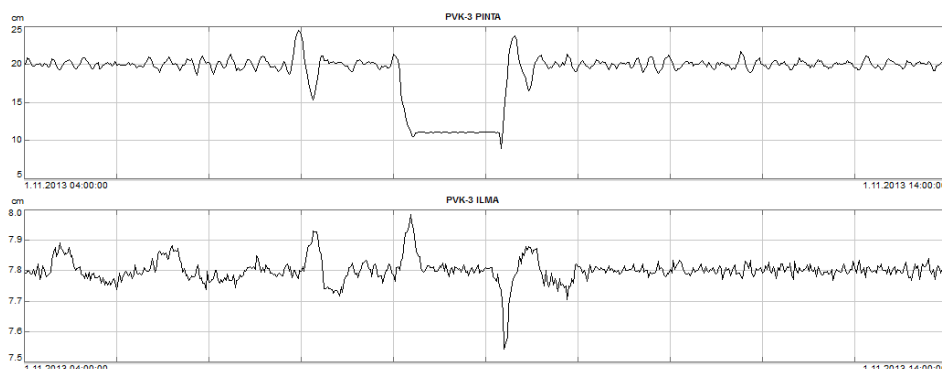
Näyte 31-33



Kuva 62. Näytteiden 31-33, syötteet, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

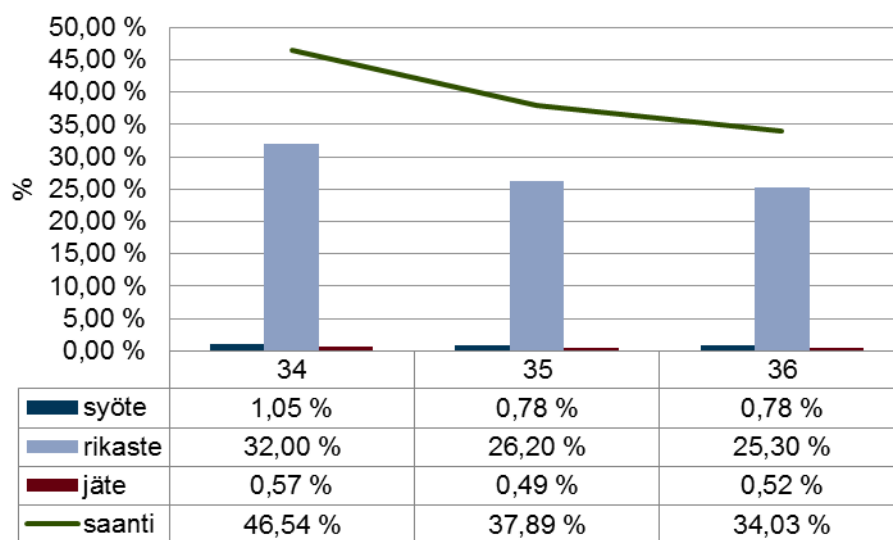
Syöteen ollessa yhtä heikko saanti ja rikaste jäävät alhaiseksi. Kennoa ajetaan samoilla säädöillä kuin edellisessä koeajossa, operaattorin ajopraktiikka ei muutu. Ksantaatin lisäys ei näytä lisäävän rikasteen kuparipitoisuutta.

12. koeajo ilman kameraa (ksantaatti 500ml/min)/1.11.2013



Kuva 63.Koeajo 12, näyte 34-35, pinnanmittaus ja ilmamäärän mittaus Wedgestä

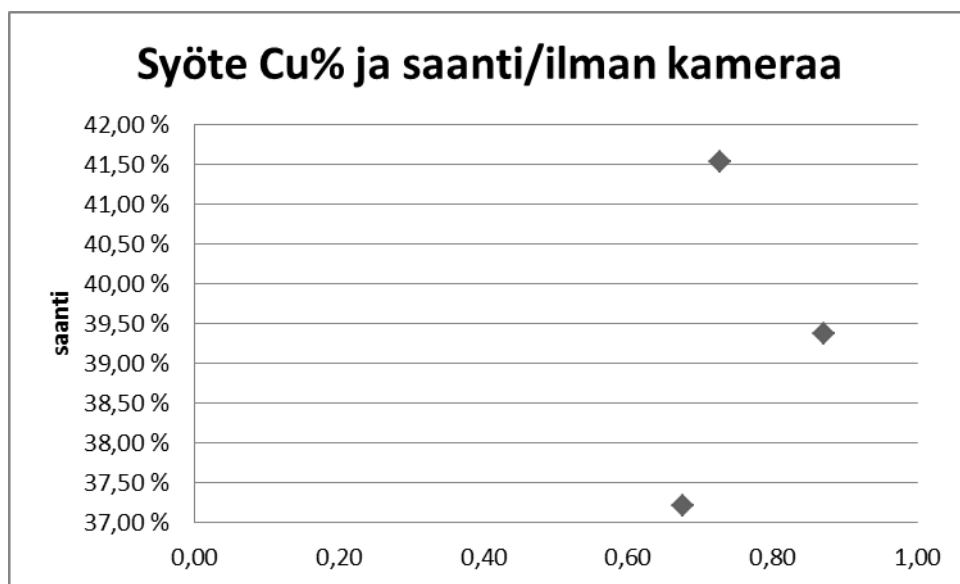
Näyte 34-36



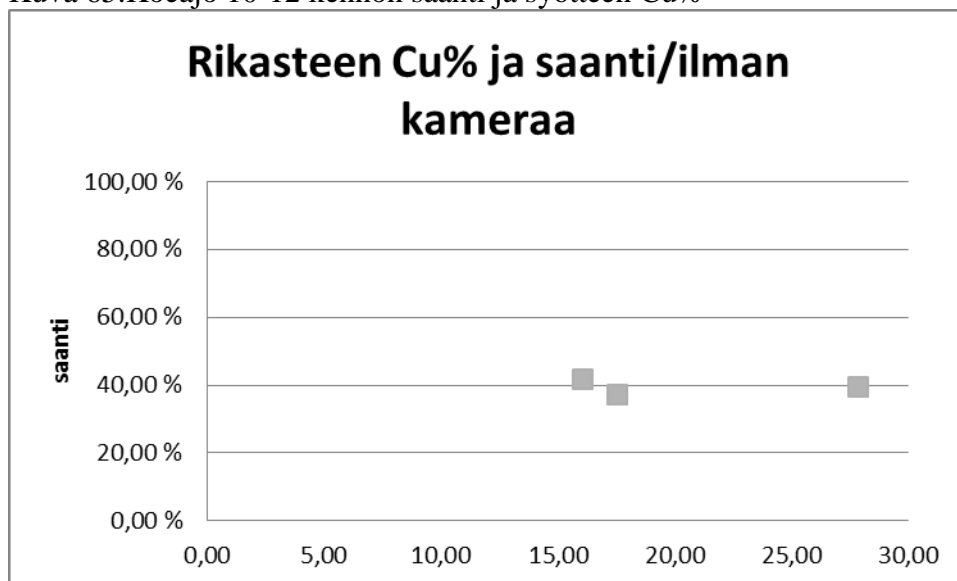
Kuva 64. Näytteiden 34-36, syötteen, rikasteet ja jäte sekä kennon saanti

Viimeisessä koeajosarjassa jätteen kuparipitoisuus nousee syötteen ollessa laihaa. Rikasteen kuparipitoisuus saadaan nousemaan vaikka vaahtopatjan ja ilmamäärän mittaus ovat samalla tasolla kuin kahdessa edellisessä koeajossa ilman vaahtokameraa. Ksantaatin syöttömäärän nostolla saattaa olla vaikutusta, mutta tasoero on huikea edellisiin koeajoihin nähden, joten ei voida olettaa että kemikaalin lisäys yksin vaikuttaa näin vahvasti. Syötteen mineralogiset muutokset saattavat vaikuttaa rikasteen kuparipitoisuuden heilahteluihin.

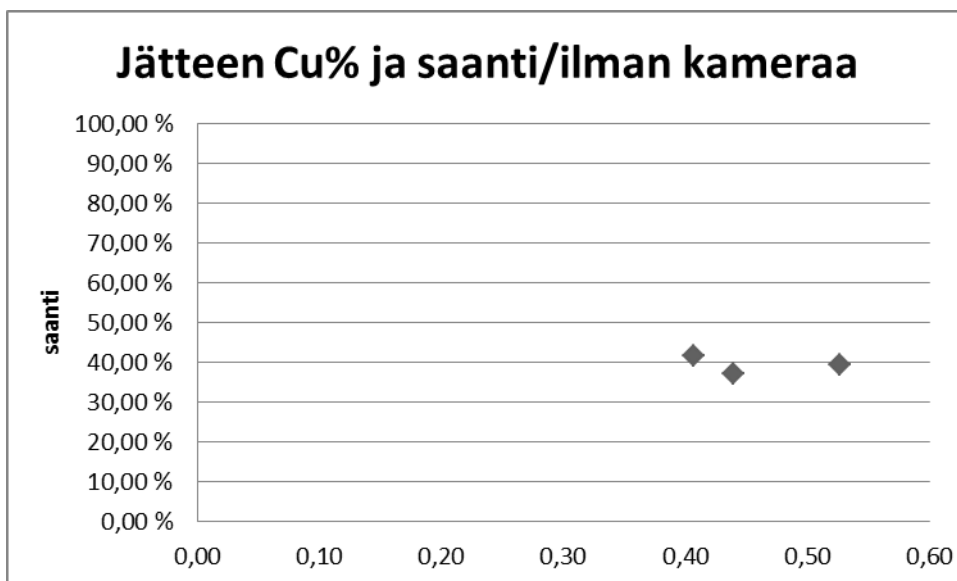
10-12. koeajon vertailu keskenään päivittäisten koeajojen keskiarvolla



Kuva 65.Koeajo 10-12 kennon saanti ja syötteen Cu%



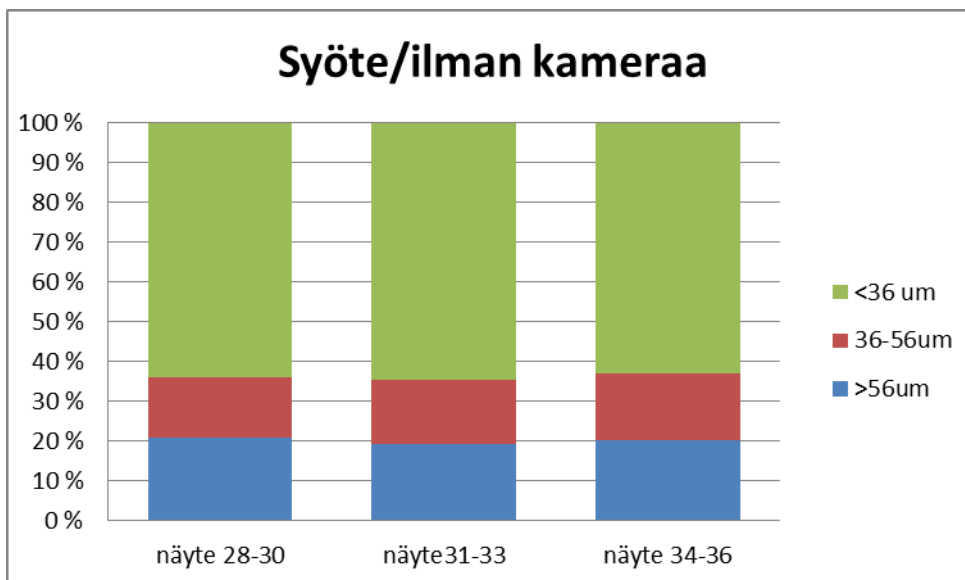
Kuva 66.Koeajo 10-12 kennon saanti ja rikasteen Cu%



Kuva 67.Koeajo 10-12 kennon saanti ja jätteen Cu%

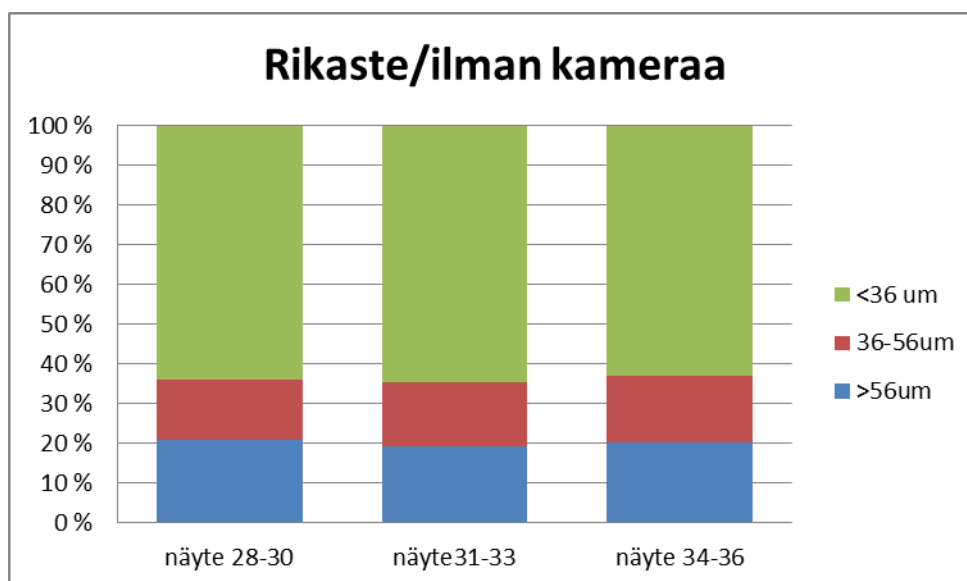
Syötteessä matala kuparitaso heikentää kennon saantia. Matalalla syötteellä saanti jää alhaiseksi. Rikasteen kuparipitoisuus vaihtelee heikosta alle 20 prosentista korkeaan kuparipitoisuuteen 30 prosenttiin. Saanti ei parane rikasteen vahvistuessa ja samanaikaisesti jätteen korkeamman kuparipitoisuuden vuoksi. Ksantaatin lisäys saattaa vaikuttaa viimeisen näytesarjan kuparipitoisuuden nousuun positiivisesti.

Näytteiden 28-36 partikkelien raekokoluokat päivittäisten koeajojen keskiarvolla



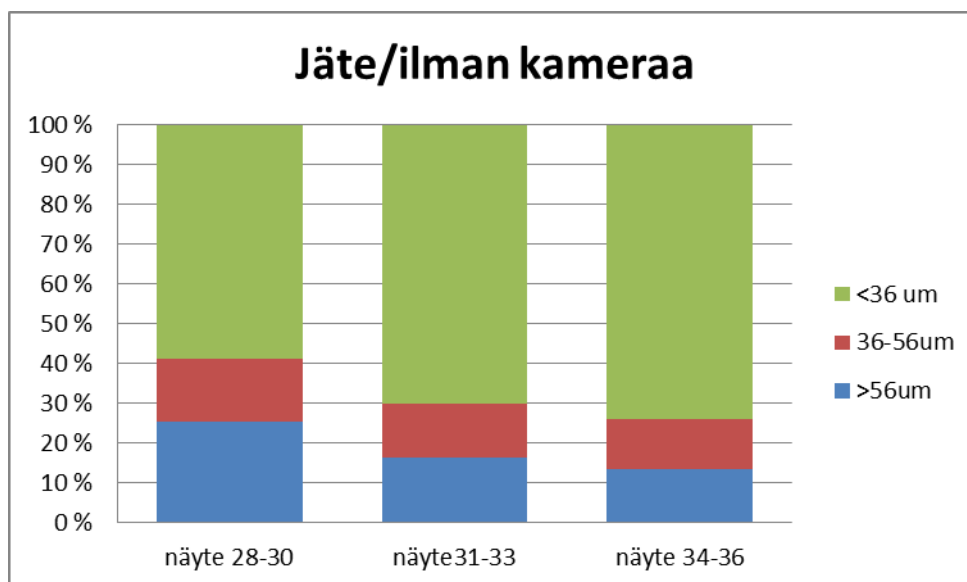
Kuva 68.Näytteiden 28-36 raekoko syötteestä

Syötteen partikkelikoot ovat samankaltaiset koejakson ajan eikä suurta variaatiota ole havaittavissa aikaisempiin koejaksoihin verrattaessa.



Kuva 69. Näytteiden 28-36 raekoko rikasteesta

Rikasteen partikkelikokojakauma oli samankaltainen jokaisessa näytteessä. Näytteessä 34-36 ksantaatin määrä oli suurin ja rikasteen pitoisuus oli korkein, näistä huolimatta partikkelien rakokojakauma on yhdenmukainen. Verrattaessa aikaisempiin raekokoanalyysihin kamera-ajoissa huomataan, että ilman kameraa ajettaessa keskisuurten ja suurten partikkelien määrät ovat kasvaneet.



Kuva 70. Näytteiden 28-36 raekoko jätteestä

Näytteiden 34-36 jätteen kuparipitoisuus nousee 0,1 %-yksikköä muihin näytteihin verrattuna. Suurin muutos näkyy hienoimman aineksen osuuden nousuna sekä karkeimman aineksen vähentymisenä. Lietteessä liian hienojakeiset partikkelit saattavat liettyä, jolloin vaahdotus vaikeutuu.

11 YHTEENVETO JA JATKOSUUNNITELMA

Tällä insinööriyöllä oli tarkoitus selvittää vaahtokameran toimivuutta ja vaahdotuskennon toimintaa kamera-ajojen aikana muuttamalla vaahdonnopeutta sekä ksantaatin määrää kennossa. Koeajon säätösuureina olivat vaahdonnopeus, jonka tarkoitus oli ohjata kennon ilmamäärää sekä vaahtopatjan korkeutta. Vertailuajoksi otettiin myös vaahdotuskennolla ajo ilman vaahtokameraa. Ilman kamera-ajoa operaattorit ajoivat kennoa normaalisti. Ksantaatin määrää vaihdeltiin samoin kuin kameraajoissakin. Vaahdotusöljyn määrä pidettiin kaikkien ajojaksojen aikana vakiona. Koeajosarjoja toteutettiin 12 kappaletta. Vaahdonnopeuksia ajettiin kolme ja jokaisessa käytettiin kolmea eri ksantaatin syöttömäärää. Koesarjoissa tuloksissa vertailtiin syötteen, rikasteen, jätteen kuparipitoisuuksia ja näiden seulasarjoja. Tämän lisäksi verrattiin kennon saantia.

Ksantaatin alarajana pidettiin pitkän aikavälin keskiarvoa ja lisäykset tehtiin 50ml/min lisäyksinä kaksi kertaa. Normaaliajossa vaahtopatjan korkeuden keskiarvoa pidetään 20cm:ssä, koeajoon valittiin vaihteluväli 12-22cm. Ilmamäärä operaattorien pitkän aikavälin toiminnassa asettuu 8Nm³:lle, joten vaihteluväliksi valittiin 7-11Nm³. Vaihteluvälit ilmamäärässä ja vaahtopatjan korkeudessa olisi voinut asettaa vielä suuremmaksi, varsinkin vaahtopatjan korkeuden kohdalla.

Vaahtokameran toiminnassa huomattiin epäjohtamukaisuuksia. Vaahdonnopeus ei tavoittanut raja-arvoa vaan liikkui joko yläpuolella tai alapuolella asetetun arvon. Kamera ei aina ohjannut lietepinnan korkeutta ja ilmamäärää ylös- tai alaspäin. Kamera tuntui välillä jumittuneen omalle tasolleen. Kameran vaahdonnopeus liikkui eri koeajojen aikana muuttaen säätösuureita, joten voidaan sanoa, että kameran ohjaus toimi vaikeasti halutulla tavalla. Vaahtokameran hyvänä puolena voidaan pitää visuaalista kuvaa, joka välittyi valvomoon operaattorin käyttöön. Operaattorin kosketus normaalisti kennon toimintaan ja vaahtopatjan kuplastoon rajoittuu muutamiin kierroksiin 8 tunnin työajan puitteissa. Vaahtokameran kuva antoi reaaliaikaista tietoa kennosta, mm. minkä kokoista kuplakoko on, kuinka nopeasti vaahto liikkuu, liikkuuko vaahto kennon reunan yli ränniin. Operaattorien palaute kamerasta oli hyvää. Operaattorit olivat tyytyväisiä visuaaliseen kuvaan valvomossa, joka välittyi vaahtokameran näytöltä.

Koeajojaksojen aikana syötteen kuparipitoisuus vaihteli 0,5 – 2,7 %:n välillä. Syötteen kuparipitoisuudella on suuri merkitys kennon saantiin sekä kuparipitoisen rikasteen tuottamiseen. Syötteen noustessa yleensä saanti paranee ja päinvastoin.

Parhain saanti (n.80 %) sekä hyvä rikaste (n.28 %) saatiin koeajoissa, jossa vaahdonnopeus asetettiin 50mm/s ja ksantaatin syötön ollessa 400ml/min sekä 450ml/min. Syötteen kuparipitoisuus oli koeajosarjan korkeimmat ka.2,7 %, joten syötteen rikastaminen oli helpompaa kuin laihassa syötteessä. Näissä koeajoissa vaahdonnopeus pääsi osittain lähes halutulle tasolle. Vaahtopatjan korkeuden ja ilmamäärän kamera ohjasi ylärajoille. Pinnankorkeutta ja ilmamäärää nostamalla kamera todennäköisesti olisi päässyt haluttuun vaahdonnopeuteen, joten asetusarvojen vaihteluväli olisi voinut olla suurempi. Kuitenkin voidaan sanoa, että tällä nopeudella saanti oli hyvä ja rikaste huomattavasti sulaton tarvitseman kuparipitoisuuden yläpuolella. Ksantaatin lisäyksellä ei näytä olevan suurta merkitystä. Ksantaatin yliannostus aiheuttaa kemikaalikustannusten lisääntymistä.

Koejaksoilla, joissa kameraa ei käytetty ja ksantaatti määrät olivat 400 ja 450ml/min, saatiin heikoimmat saannit sekä rikasteen kuparipitoisuudet. Syötteen kuparipitoisuus oli näillä ajojaksoilla erittäin alhainen liikkuen ka. 0,71 % tasolla, heikentäen kennon saantia ja kennon toimintaa. Saanniksi saatiin 40 % sekä kuparin rikastepitoisuus rikasteessa jäi alle 17 %. Kennon vaahtopatjan pintaa sekä ilmamäärää ajettiin normaalin ajon arvoilla, pinta 20 cm ja ilmamäärä 8 Nm³. Kennoston säätö tapahtuu kokemuksen perusteella ja usein säädöt ovat lähes vakiotasoillaan. Säädöt eivät perustu mittaustuloksiin, koska kyseisestä kennosta ei mitata mitään suureita. Primääri-kennon vaahtopatjan silmämääräinen tarkastelun perusteella säädetään ilmaa sekä vaahtopatjan pintaa. Rikasteen kuparipitoisuuden muuttamiseen nopeasti saadaan paras vasteaika muuttamalla primäärivaahdotuskennojen säätöjä. Ajoarvojen kohdalleen asettaminen ei siis perustu tietoon vaan totuttuihin tapoihin. Kokonaisrikastetta seurataan rikastekaivon rikastelinjasta mittaamalla, mutta yksittäisten kennojen mittausta ei ole. Ilman kameraa ajatun koesarjan viimeisessä sarjassa pumpattiin kennon ksantaattia 500ml/min, joka nosti rikasteen kuparipitoisuuden lähes 28 %-tasolle, jätteen kuparipitoisuus nousi 0,40 %:sta 0,50 %:n. Tässä näyttää auttaneen ksantaatin nosto rikasteen kuparipitoisuuden nostossa. Syötteen kuparipitoisuus oli

tässä koesarjassa matala ja jätteen kuparipitoisuus syötteeseen nähden oli korkea, joten saanti jäi alhaiseksi. Kuitenkin voidaan sanoa, että ksantaatin määrällä voidaan vaikuttaa kennon toimintaan positiivisesti. Syötteen alhainen kuparipitoisuus heikentää kennon toimintaa eikä ole suositeltavaa saannin kannalta. Kemikaalien käyttö perustuu operaattoreilla opittuun tapaan ja kokeiluun. Kemikaalia lisätään tai vähennetään tilanteissa, joissa syötteen, rikasteen tai jätteen kuparipitoisuudet vaihtelevat suuresti. Usein pienimuotoiset vaihtelut eivät aiheuta operaattorin toiminnassa säätötarvetta. Vaahdotusprosessin läpimenoaika on pitkä ja usein onkin viisaampaa odottaa ja seurata tilannetta ennen kuin tehdä hätäisiä ja nopeita päätöksiä ja säätöjä.

Raekokojakaumat olivat yhtenäiset koeajoissa, joissa kameraa käytettiin. Syötteen partikkelien jakaumat olivat yhdenmukaiset kaikkien koeajojaksojen kohdalla. Hienointa partikkelikokojakaumaa oli jokaisessa koeajossa suurin osa, yli 50 % osuus.

Kameratta ajon aikana rikasteen raekoon jakauma muuttui. Pienempien partikkelien määrä väheni ja suuret ja keskisuuret lisääntyivät. Rikasteessa nähdään pienempien partikkelien helppoin vaahdotettavuus.

Jätteen raekoon jakaumassa nähdään suurempia vaihtelueroja varsinkin tilanteissa, joissa käytettiin kameraa. Koeajossa, jossa vaahdonnopeus on asetettu 60ml/min ja ksantaatin määrä 500ml/min, jätteeseen jää keskisuurta partikkelia suuri määrä. Keskisuuren partikkelin kiinnittyminen ja kennoston pinnalle nousu ei ole onnistunut. Kemikaalien lisäys olisi saattanut parantaa rikasteen kuparipitoisuutta.

Vahtokameran käyttö ja toiminta vaatisi rikastamolla kennojen mittaustietoa syötteestä, rikasteesta ja jätteestä. Pelkällä vahtokameralla ei tuoteta lisäarvoa, varsinkin kun syötteen kuparipitoisuus voi vaihdella reilusti. Primäärikenno3:sen toimintaa häiritsee myös esivaahdotuskennon rikasteen ajo kyseiseen kennoon. Rikastamon kennoston loppupään tuote tulisi syöttää välijätekaivon kautta uudelleen sekundaarijauhatukseen ja sitä kautta sekundääri-vaahdotukseen. Vahtokamera, joka saatiin Outoteciltä testiin, ei ollut vielä aivan huippuunsa viritetty vaan sitä pitäisi säätää rikastamon parametrin mukaan parhaan tuloksen saantiin. Jos primäärikennolle hankitaisiin Courier-linjaan mittauspisteitä vaahdosta ja lietteestä, kameralla voitaisiin tasapainottaa ja helpottaa operaattorin työtä ja saada hyvä saanti. Rikastamon kahdek-

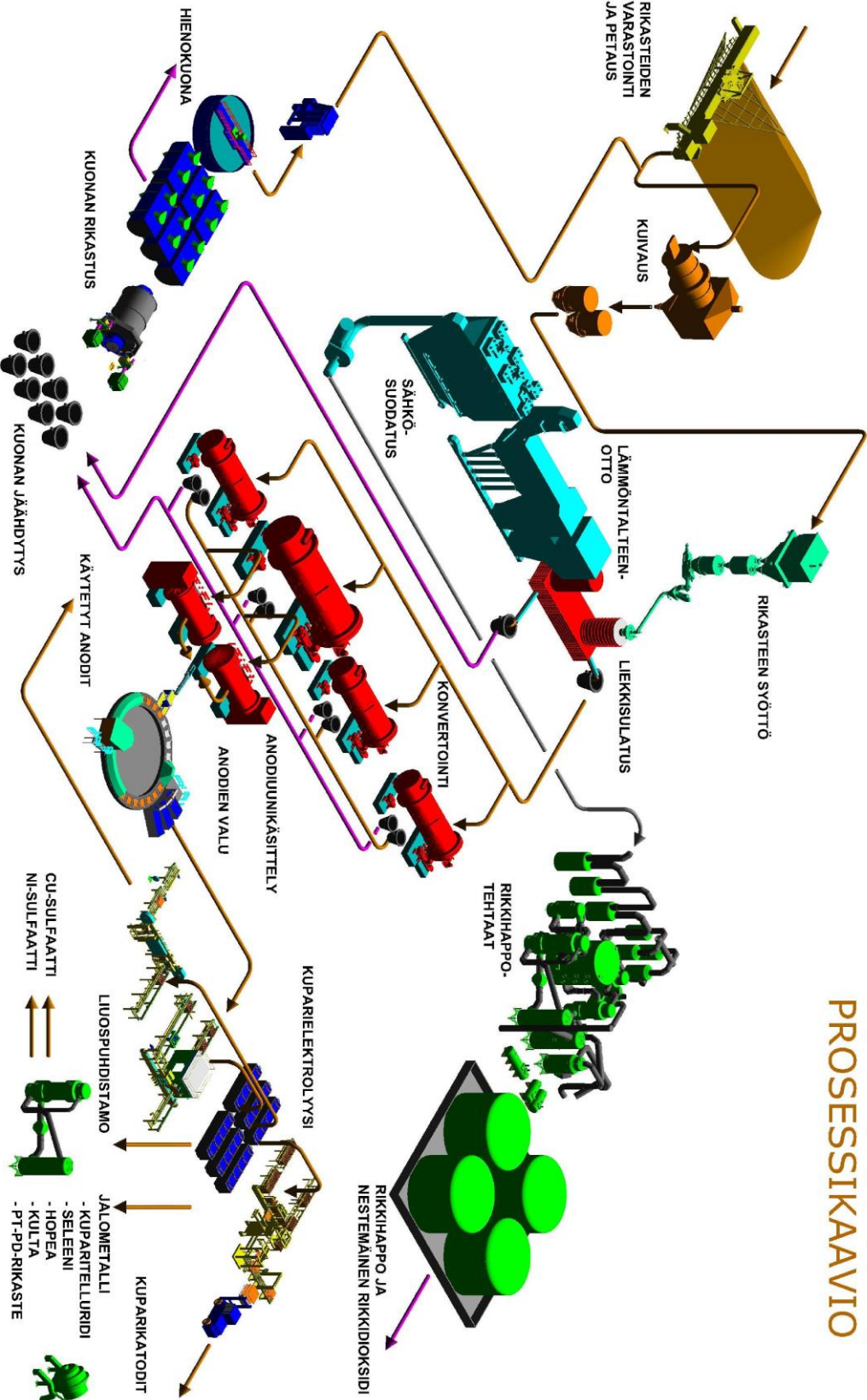
sasta kennosta ainoastaan kertauskennol jätteellä on mittaustietoa saatavana, joten jokaiseen kennostoon mittauksen saattaminen on työläs ja rikastamon puitteet asettavat omat haasteensa. Kennostoalueen alapuolinen tila on rajallinen pumppujen lisäykselle. Courierin multiplexeriä täytyisi laajentaa useammalle näytteelle. Rikastamolla olisi hyvä miettiä mitkä olisivat kennoista sellaisia, joihin näytteenotto pitäisi toteuttaa parhaan hyödyn saavuttamiseksi. Toisena vaihtoehtona olisi pitkien sarjojen näytteenotto kaikista kennoista, joissa haettaisiin jokaiselle kennolle keskimääräiset ajoparametrit. Tällä hetkellä kokonaisvaahdotus onnistuu hyvin, mutta tämän koesarjan tulosten perusteella voidaan todeta yksittäisen kennon toiminnan perustuvan enemmän ja vähemmän totuttuun tapaan toimia.

Rikastamon toimintaa ei ole pitkäjänteisesti optimoitu eikä päivittäiseen ajoon ole uhrattu resursseja. Rikastamo toimii hyvin, mutta rikastamo voisi toimia paremmin, jos jokaiselle vaahdotuskennolle haettaisiin parhaat mahdolliset ajoarvot.

LÄHTEET:

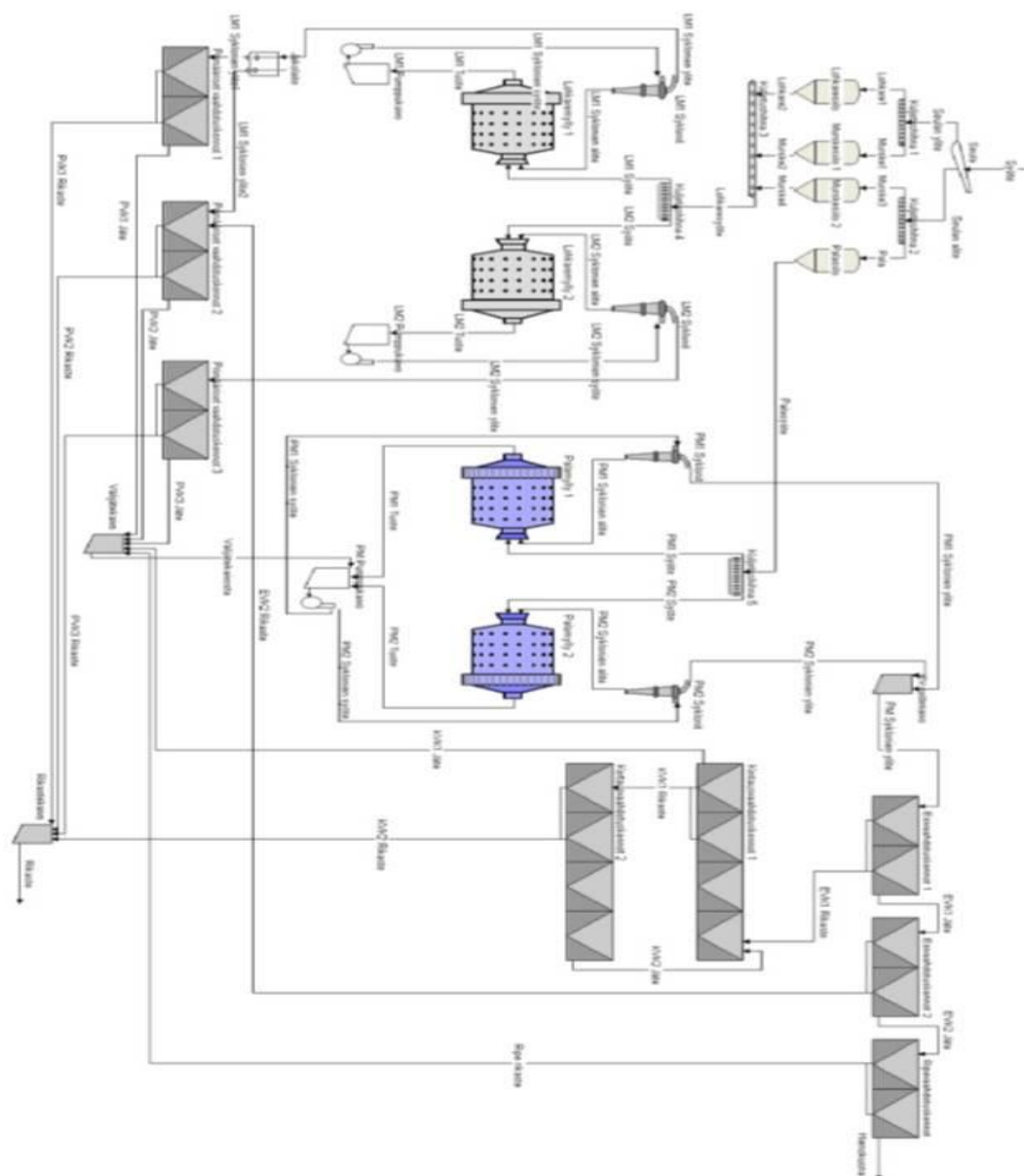
1. Boliden Konsernin Internet sivut. Viitattu 18.4.2015. Luettavissa: <http://www.boliden.com/fi/Toimipaikat/>
2. Boliden Konsernin Internet sivut. Viitattu 18.4.2015. Luettavissa: <http://www.boliden.com/Documents/Press/Publications/Place%20brochures/boliden-harjavalta-fi.pdf>
3. Boliden Konsernin Internet sivut. Viitattu 18.4.2015. Luettavissa: <http://intranet.boliden.internal/fi/me/tuotanto/harjavalta/PublishingImages/Sivut/default/Kuparituotanto%20prosessikaavio.pdf>
4. Toimi Lukkarinen, Mineraalitekniikka osa II Mineraalien hienonnus, Insinööritieto Oy 1984, s. 18. Viitattu 18.4.2015
5. http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf
6. Toimi Lukkarinen, mineraalitekniikka osa II Mineraalien rikastus, Insinööritieto Oy 1987 s.51. Viitattu 18.4.2015
7. Juhani Wallenius. 2014. Kuparikuonan rikastuksenprosessin vaahdotuspiirin toiminnan kartoitus. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
8. J. Mansikka-aho. 2005. Kuparikuonan vaahdotustutkimus. AMK- opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.
9. Mikko Härkönen, konvertteri koulutus 2012
10. Lamberg, Liipo, Lyyra ja Kyläkoski. 2006. Konvertterikuonan kemia, mineralogia ja rikastuskokeet.
11. Satu Viikilä. 2013. Kuonarikastamon vaahdotuksen saannin optimointi. AMK- opinnäytetyö. Satakunnan Ammattikorkeakoulu.

KUPARITUOTANNON PROSESSIKAAVIO



KUPARITUOTANNON
PROSESSIKAAVIO

KUONARIKASTAMON PROSESSIKAAVIO



VAAHDOTUSKOKEEN KOEAJOAIKATAULU

19.12.2013/KOEAJ04	TUNNUS	20.12.2013/KOEAJ05	TUNNUS	18.12.2013/KOEAJ06	TUNNUS
vaahdotokameran nopeus 40		vaahdotokameran nopeus 40		vaahdotokameran nopeus 40	
öljy 45		öljy 45		öljy 45	
ksantaatti 400		ksantaatti 450		ksantaatti 500	
syöte	10A	syöte	13A	syöte	16A
rikaste	10B	rikaste	13B	rikaste	16B
jäte	10C	jäte	13C	jäte	16B
syöte	11A	syöte	14A	syöte	17A
rikaste	11B	rikaste	14B	rikaste	17B
jäte	11C	jäte	14C	jäte	17B
syöte	12A	syöte	15A	syöte	18A
rikaste	12B	rikaste	15B	rikaste	18B
jäte	12C	jäte	15C	jäte	18C
7.11.2014/KOEAJ01		6.11.2013/KOEAJ02		8.11.2013/KOEAJ03	
vaahdotokameran nopeus 50		vaahdotokameran nopeus 50		vaahdotokameran nopeus 50	
öljy 45		öljy 45		öljy 45	
ksantaatti 400		ksantaatti 450		ksantaatti 500	
syöte	1A	syöte	4A	syöte	7A
rikaste	1B	rikaste	4B	rikaste	7B
jäte	1C	jäte	4C	jäte	7B
syöte	2A	syöte	5A	syöte	8A
rikaste	2B	rikaste	5B	rikaste	8B
jäte	2C	jäte	5C	jäte	8B
syöte	3A	syöte	6A	syöte	9A
rikaste	3B	rikaste	6B	rikaste	9B
jäte	3C	jäte	6C	jäte	9C
19.12.2013/KOEAJ07		20.12.2013/KOEAJ08		5.2.2014/KOEAJ09	
vaahdotokameran nopeus 60		vaahdotokameran nopeus 60		vaahdotokameran nopeus 60	
öljy 45		öljy 45		öljy 45	
ksantaatti 400		ksantaatti 450		ksantaatti 500	
syöte	19A	syöte	22A	syöte	25A
rikaste	19B	rikaste	22B	rikaste	25B
jäte	19C	jäte	22C	jäte	25C
syöte	20A	syöte	23A	syöte	26A
rikaste	20B	rikaste	23B	rikaste	26B
jäte	20C	jäte	23C	jäte	26C
syöte	21A	syöte	24A	syöte	27A
rikaste	21B	rikaste	24B	rikaste	27B
jäte	21C	jäte	24C	jäte	27C
30.10.2013/KOEAJ010		31.10.2014/KOEAJ011		1.11.2013/KOEAJ012	
vaahdotuskennon ajo ilman kameraa		vaahdotuskennon ajo ilman kameraa		vaahdotuskennon ajo ilman kameraa	
öljy 45		öljy 45		öljy 45	
ksantaatti 400		ksantaatti 450		ksantaatti 500	
syöte	28A	syöte	31A	syöte	34A
rikaste	28B	rikaste	31B	rikaste	34B
jäte	28C	jäte	31C	jäte	34C
syöte	29A	syöte	32A	syöte	35A
rikaste	29B	rikaste	32B	rikaste	35B
jäte	29C	jäte	32C	jäte	35C
syöte	30A	syöte	33A	syöte	36A
rikaste	30B	rikaste	33B	rikaste	36B
jäte	30C	jäte	33C	jäte	36C

VAAHDOTUSKOKEEN TULOKSET

pvm	näyte	syöte	270	400	-400	rikaste	270	400	-400	jäte	270	400	-400	saanti	ksantaatti	vauhti +/-5,
7.11.2013	1	2,70	26,6	13,3	80,2	27,5	8,1	12,0	80,0	0,43	32,7	17,7	49,6	85,41 %	400	50
7.11.2013	2	2,48	16,9	13,8	69,2	27,0	9,0	15,8	75,2	0,60	31,0	16,6	52,4	77,53 %	400	50
7.11.2013	3	2,78	21,0	14,7	64,3	29,1	5,5	12,4	82,1	0,62	27,4	17,2	55,4	79,39 %	400	50
6.11.2013	4	2,88	32,5	15,4	52,2	27,1	10,9	14,1	74,9	0,55	37,4	15,4	47,2	82,58 %	450	50
6.11.2013	5	2,75	31,3	14,2	54,5	28,7	7,9	12,5	79,7	0,63	34,3	16,1	49,6	78,82 %	450	50
6.11.2013	6	2,77	24,9	15,6	59,5	29,7	5,5	9,9	84,6	0,58	31,7	15,8	52,5	80,64 %	450	50
8.11.2013	7	2,51	8,6	15,0	76,4	20,0	3,0	8,3	88,7	0,51	15,2	14,3	70,5	81,77 %	500	50
8.11.2013	8	1,75	9,5	12,6	77,9	23,0	3,4	9,8	86,8	0,59	22,1	16,3	61,6	68,03 %	500	50
8.11.2013	9	1,31	5,8	18,6	75,7	21,4	4,2	10,3	85,5	0,54	17,0	16,4	66,5	60,30 %	500	50
19.11.2013	10	2,38	21,2	16,2	82,6	29,1	7,5	13,1	79,5	0,66	24,2	14,9	60,9	73,95 %	400	40
19.11.2013	11	1,47	17,1	16,3	66,5	29,0	4,1	11,1	84,8	0,65	15,9	14,2	69,9	57,06 %	400	40
19.11.2013	12	1,87	12,9	15,3	71,7	24,0	2,1	5,8	92,2	0,62	23,1	14,9	62,0	68,62 %	400	40
29.11.2013	13	0,87	19,3	14,3	66,5	16,8	0,9	6,4	92,7	0,51	20,5	20,8	58,7	42,67 %	450	40
29.11.2013	14	1,09	14,0	14,8	71,3	20,0	3,1	8,4	88,5	0,44	15,4	11,5	73,1	60,97 %	450	40
29.11.2013	15	0,96	12,3	15,5	72,2	20,8	0,9	6,4	92,7	0,53	19,2	17,4	63,4	45,96 %	450	40
18.12.2013	16	1,38	10,2	12,1	77,7	19,4	6,0	11,0	83,1	0,62	30,3	19,3	50,4	56,89 %	500	40
18.12.2013	17	2,68	19,8	15,1	65,1	19,15	0,8	5,3	93,9	0,63	54,0	10,9	35,1	79,09 %	500	40
18.12.2013	18	2,70	26,3	17,5	73,7	18,9	3,7	11,9	84,3	0,52	33,0	18,6	48,4	83,03 %	500	40
19.12.2013	19	2,00	19,9	16,9	63,2	19,2	3,9	10,5	85,6	0,56	14,5	16,3	69,3	74,16 %	400	60
19.12.2013	20	1,92	15,2	13,6	71,1	16,3	4,2	8,6	87,0	0,51	2,5	10,4	87,1	75,81 %	400	60
19.12.2013	21	1,91	1,8	8,4	89,8	18,0	4,1	9,5	86,4	0,42	15,6	15,4	69,1	79,87 %	400	60
20.12.2013	22	2,02	0,4	4,3	95,3	18,5	4,3	7,6	88,0	0,50	27,4	18,1	54,5	77,34 %	450	60
20.12.2013	23	2,48	17,5	11,9	70,6	20,3	5,4	9,8	84,8	0,44	13,2	12,0	74,8	84,08 %	450	60
20.12.2013	24	1,88	12,7	15,2	72,1	17,8	1,1	5,2	93,8	0,48	31,1	19,3	49,5	76,53 %	450	60
5.2.2014	25	2,50	5,2	16,1	78,7	16,9	1,7	5,9	92,3	0,50	6,9	13,2	80,0	82,44 %	500	60
5.2.2014	26	2,74	23,3	14,6	82,2	18,4	1,5	6,2	92,3	0,49	4,3	12,8	82,9	84,36 %	500	60
5.2.2014	27	2,78	1,8	12,9	85,3	17,65	1,6	6,05	92,3	0,49	25,3	15,0	59,8	84,73 %	500	60
30.10.2013	28	0,75	22,7	15,0	62,3	18,4	8,9	10,9	80,2	0,44	25,3	15,0	59,8	42,35 %	400	ei kameraa
30.10.2013	29	0,6	26,2	18,6	67,0	16,9	8,7	10,6	80,7	0,43	21,7	15,2	63,1	29,07 %	400	ei kameraa
30.10.2013	30	0,74	16,4	13,1	70,5	17,3	6,1	8,2	85,7	0,45	39,2	24,6	77,0	40,24 %	400	ei kameraa
31.10.2013	31	0,81	17,2	14,8	68,0	18,6	4,5	8,2	87,3	0,40	23,6	17,4	59,0	51,73 %	450	ei kameraa
31.10.2013	32	0,53	19,2	15,6	65,0	13,6	3,8	6,9	89,2	0,45	25,5	17,7	56,7	15,61 %	450	ei kameraa
31.10.2013	33	0,84	21,9	17,3	60,9	16,0	5,6	8,8	85,5	0,37	0,4	5	94,6	57,28 %	450	ei kameraa
1.11.2013	34	1,05	18,1	17,3	64,6	32,0	5,2	9,9	84,9	0,57	21,2	17,1	61,8	46,54 %	500	ei kameraa
1.11.2013	35	0,78	19,4	16,4	64,2	26,2	5,5	10,4	84,1	0,49	0,4	5	94,6	37,89 %	500	ei kameraa
1.11.2013	36	0,78	22,9	16,5	60,6	25,3	6,5	11,2	82,3	0,52	18,6	16,0	65,4	34,03 %	500	ei kameraa